

Solid state laser for laser processing machine - has lasing medium with rough surface for high quality, high power laser beam prodn.

Patent number: DE4331389

Publication date: 1994-03-17

Inventor: KOJIMA TETSUO (JP); ISHIMORI AKIRA (JP); YASUI KOJI (JP); IWASHIRO KUNIAKI (JP); YAMAMOTO TAKASHI (JP)

Applicant: MITSUBISHI ELECTRIC CORP (JP)

Classification:

- **International:** H01S3/093; H01S3/16; H01S3/08; B23K26/06

- **European:** B23K26/06; H01S3/093

Application number: DE19934331389 19930915

Priority number(s): JP19930191441 19930802; JP19920272520 19920916

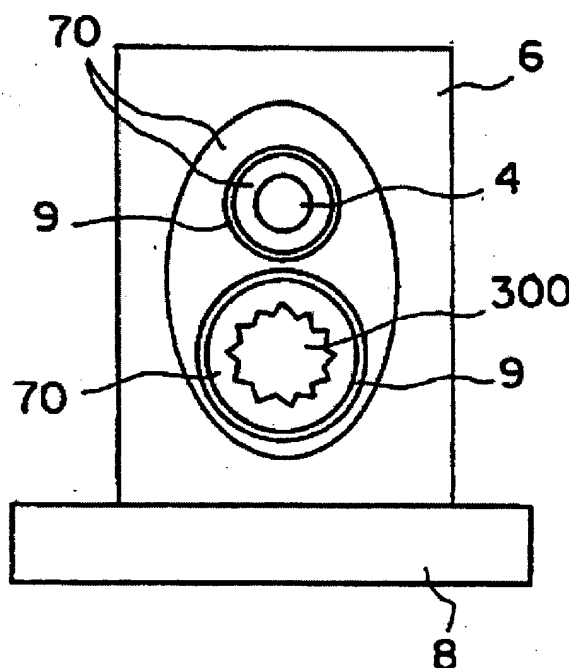
Also published as:

US5359616 (A1)
JP6152018 (A)

Abstract of DE4331389

Appts. has (a) a solid state component (300) which consists of a lasing medium cooled by contact with a liq. of lower refractive index; (b) a light excitation device for transmission of light from a light source (4) to the solid state component (300); and (c) a laser resonator for extracting a laser beam from the solid state component. The excitation distribution is adjusted in a section of the solid state component by adjusting its surface roughness pref. to a value of 130 microns or more.

ADVANTAGE - Light is introduced uniformly into the solid state component and a high quality, high power laser beam is produced using a uniform laser medium. High quality processing can be carried out using this laser beam.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 43 31 389.2
22 Anmeldetag: 15. 9. 93
43 Offenlegungstag: 17. 3. 94

DE 43 31 389 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31

16.09.92 JP P 272520/92 02.08.93 JP P 191441/93

71 Anmelder:

Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:

Tiedtke, H., Dipl.-Ing.; Bühling, G., Dipl.-Chem.;
Kinne, R., Dipl.-Ing.; Pellmann, H., Dipl.-Ing.; Grams,
K., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 80336 München

72 Erfinder:

Yasui, Koji, Amagasaki, Hyogo, JP; Kojima, Tetsuo,
Amagasaki, Hyogo, JP; Yamamoto, Takashi,
Amagasaki, Hyogo, JP; Ishimori, Akira, Amagasaki,
Hyogo, JP; Iwashiro, Kuniaki, Amagasaki, Hyogo, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Festkörperlaser Vorrichtung und Laserbearbeitungsvorrichtung

57 Es wird eine Festkörperlaser Vorrichtung beschrieben, mit der ein Laserstrahl hoher Qualität und hoher Energie erzeugt werden kann. Es wird ferner eine Laserbearbeitungsvorrichtung vorgeschlagen, mit der eine Laserbearbeitung mit einem Laserstrahl durchgeführt werden kann, der von der Festkörperlaser Vorrichtung erzeugt wird. Bei der Festkörperlaser Vorrichtung besitzt ein Laserresonator eine Festkörperkomponente, die in einem zylindrischen Rohr durch Kontakt mit einer Flüssigkeit gekühlt wird, welche durch eine Einlaßöffnung eingeführt und durch eine Auslaßöffnung herausgeführt wird, hat die Festkörperkomponente einen größeren Brechungsindex als die Flüssigkeit, erregt eine durch eine Energiequelle eingeschaltete Lichtquelle die Festkörperkomponente und überträgt ein optisches System Licht von der Lichtquelle zur Festkörperkomponente. Die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente wird eingestellt, besitzt ein Laserresonator eine Festkörperkomponente, die in einem zylindrischen Rohr durch Kontakt mit einer Flüssigkeit gekühlt wird, welche durch eine Einlaßöffnung eingeführt und durch eine Auslaßöffnung herausgeführt wird, hat die Festkörperkomponente einen größeren Brechungsindex als die Flüssigkeit, erregt eine durch eine Energiequelle eingeschaltete Lichtquelle die Festkörperkomponente und überträgt ein optisches System Licht von der Lichtquelle zur Festkörperkomponente. Die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente wird eingestellt, um die Erregungsverteilung ...

DE 43 31 389 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Festkörperlaservorrichtung, die einen Laserstrahl hoher Qualität und hoher Leistung erzeugt, und eine Laserbearbeitungsvorrichtung zur Durchführung einer Laserbearbeitung mit Hilfe des von der Laservorrichtung erzeugten Laserstrahles hoher Qualität.

Die Fig. 1a und 1b zeigen eine herkömmlich ausgebildete Laservorrichtung, die beispielsweise in der US-PS 38 03 509 offenbart ist, im Schnitt. In diesen Figuren ist mit 1 ein Totalreflektionsspiegel, mit 2 ein Teilreflektionsspiegel und mit 3 eine Festkörperkomponente, die ein aktives Festkörpermedium enthält, bezeichnet. In einem YAG-Laser wird beispielsweise Nd als aktives Festkörpermedium dotiert, um Nd : YAG (Yttrium Aluminium Granat) zu erzeugen, wobei das Nd : YAG eine Oberflächenrauigkeit von etwa $50 \mu''$ RMS besitzt, um eine parasitäre Schwingung zu vermeiden. Mit 4 ist eine Lichtquelle, wie eine Bogenlampe, mit 5 eine Stromquelle zum Einschalten der Lichtquelle und mit 6 ein Kondensor für die Lichtquelle bezeichnet. Beispielsweise ist der Kondensor 6 im Schnitt elliptisch ausgebildet, wobei eine Innenfläche desselben eine Lichtreflektionsfläche aufweist. Mit 14 ist ein Lichtstrahl bezeichnet, der in einem Laserresonator erzeugt wird, welcher die Spiegel 1 und 2 aufweist. Mit 9, 900 sind zylindrische Rohre bezeichnet, die den Durchfluß eines Mediums 70 einstellen, das die Lichtquelle 4 und die das aktive Medium aufweisende Festkörperkomponente 34 peripher kühlen. Das zylindrische Rohr 900 besitzt eine raue Oberfläche. Mit 7 ist ein Dichtungsmaterial, beispielsweise ein O-Ring bezeichnet. 81, 82 bezeichnen eine Einlaßöffnung und eine Auslaßöffnung für das Kühlmedium 70. 15 bezeichnet einen von außen kommenden Laserstrahl, und mit 8 ist eine Basis bezeichnet.

Die herkömmlich ausgebildete Festkörperlaservorrichtung ist in der vorstehend beschriebenen Weise ausgebildet. Bei dieser Vorrichtung sind die Lichtquelle 4 und das Festkörpermedium 3 in einem Brennpunkt des Kondensors, der im Schnitt elliptisch ausgebildet ist, angeordnet. Die Lichtquelle 4 wird von der Stromquelle 5 zur Abgabe von Licht eingeschaltet, und das abgegebene Licht wird an einer Stufe zerstreut, so daß es durch das die raue Oberfläche aufweisende zylindrische Rohr 900 läuft und gleichmäßig in Umfangsrichtung auf das Festkörpermedium trifft. Das Festkörpermedium wird durch das Licht erregt, so daß es zu einem Lasermedium wird. Durch das Lasermedium wird Licht einer spontanen Emission erzeugt und während des Hin- und Herlaufes im die beiden Spiegel 1 und 2 aufweisenden Resonator verstärkt. Wenn das Licht der spontanen Emission eine vorgegebene Größe oder mehr besitzt, wird das Licht außen als Laserstrahl 15 mit gutem Lichtfaktor abgegeben. Des weiteren werden die Lichtquelle 5 und die Festkörperkomponente 3 durch das im zylindrischen Rohr 900 zirkulierende Kühlmedium 70 peripher gekühlt.

Bei der vorstehend beschriebenen herkömmlichen Laservorrichtung bestrahlt und erregt das von der Lichtquelle abgegebene Licht die Festkörperkomponente in Umfangsrichtung gleichmäßig. Die Festkörperkomponente wird jedoch in der Nachbarschaft eines mittleren Abschnittes derselben stark erregt. Es tritt daher eine Erregungsverteilung auf, so daß in bezug auf die Qualität des in diesem Abschnitt erzeugten Lasermediums Schwankungen erzeugt werden. Folglich ist es unmöglich, einen Strahl hoher Qualität mit gutem Kon-

zentriationsvermögen vorzusehen.

Fig. 2 zeigt die Ergebnisse eines Versuchs, bei dem das Licht spontaner Emission aus einer axialen Richtung der Festkörperkomponente ohne einen optischen Resonator beobachtet wurde. Der Versuch wurde gemäß der US-PS 38 03 509 durchgeführt. Die Versuchsergebnisse sind in "Applied Optics", Band 14, Nr. 5, S. 1192 offenbar.

In Fig. 2 ist die Intensität des Lichtes der spontanen Emission durch die konturierten Linien angegeben. Die Lichtintensität ist hierbei an einem mittleren Abschnitt am höchsten und nimmt in sektionaler Richtung zu einem Umfangsabschnitt zu.

Da Licht von der Lichtquelle in Umfangsrichtung die Festkörperkomponente gleichmäßig bestrahlen kann, da das zylindrische Rohr 900 die raue Oberfläche besitzt, ist in Umfangsrichtung eine gleichmäßige Verteilung vorhanden. Man kann jedoch ebenfalls feststellen, daß insbesondere am Umfangsabschnitt in sektionaler Richtung eine extrem konzentrierte Verteilung erzeugt wird.

Des weiteren ist es bei der herkömmlich ausgebildeten Festkörperlaservorrichtung möglich, nur Licht zu verwenden, das eine spezielle Wellenlänge für die Laserabgabe an Licht (Energie) von der Erregerlichtquelle 4, absorbiert durch die Festkörperkomponente 3, hat. Das Licht, das andere Wellenlängen besitzt, wird durch die Festkörperkomponente 3 absorbiert, so daß die Festkörperkomponente erhitzt wird. Obwohl es erforderlich ist, die Festkörperkomponente 3 zu kühlen, besteht diesbezüglich keine Wahlmöglichkeit, sondern die Festkörperkomponente 3 muß infolge von baulichen Begrenzungen der Festkörperlaservorrichtung in Umfangsrichtung gekühlt werden. Folglich tritt eine Temperaturverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente 3 auf, wobei diese einen heißen mittleren Abschnitt und einen Umfangsabschnitt aufweist, der kälter ist als der mittlere Abschnitt.

Folglich besitzt der Brechungsindex der Festkörperkomponente 3 eine der Temperaturverteilung im Schnitt entsprechende Verteilung, was zu einer verzerrten Wellenfront des die Festkörperkomponente 3 passierenden Laserlichtes 9 führt. Daher kann das Laserlicht 9 im Resonator auf typische Weise konzentriert werden. Eine solche Laserstrahlkondensier- bzw. Konzentrierwirkung durch die Festkörperkomponente wird als Heizlinsenwirkung der Festkörperkomponente bezeichnet. Diese Heizlinsenwirkung der Festkörperkomponente bewirkt eine instabile Funktionsweise des Laserresonators. Folglich wird ein Abschnitt des Laserlichtes 9 im Laserresonator geringer, und der emittierte Laserstrahl 15 wird unregelmäßig divergiert, da die Größe der Heizlinsenwirkung in Abhängigkeit von Schwankungen der Energiezufuhr zur Stromquelle 5 variiert. Es bestehen daher diverse Probleme, daß beispielsweise der Laserstrahl von einem Durchgangsspiegel abweicht, wenn er vom Durchgangsspiegel in eine Bearbeitungsstufe o. ä., die den Laserstrahl verwendet, übertragen wird, und daß eine beständige Bearbeitung nicht durchgeführt werden kann, da eine Brennpunktsposition des Laserstrahles bis zur Stabilisierung der Heizlinsenwirkung nicht genau definiert werden kann, wenn der Laserstrahl über eine Linse konzentriert wird, wie sie zur Bearbeitung verwendet wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Festkörperlaservorrichtung zu schaffen, bei der Licht in gleichmäßiger Weise in eine Festkörperkomponente eingeführt und ein Laserstrahl hoher Leistung und hoher Qualität unter Verwendung eines gleichförmigen

Lasermediums erzeugt werden kann. Ferner soll erfindungsgemäß eine Laserbearbeitungsvorrichtung hoher Qualität unter Verwendung dieses Laserstrahles zur Verfügung gestellt werden.

Die Erfindung bezweckt ferner die Schaffung einer Festkörperlaservorrichtung, mit der eine stabile Funktionsweise des Lasers durch Korrektur der Heizlinsenwirkung der Festkörperkomponente unter Bedingungen einer veränderlichen Energiezufuhr erreicht werden kann, sowie die Schaffung einer Festkörperlaservorrichtung, die eine Laserabgabe durch variierende Resonatorbedingungen unter einem konstanten Pumpzustand pulsen kann.

Gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist zur Lösung der vorstehend angegebenen Aufgabe eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, bei der eine Festkörperkomponente peripher durch eine Flüssigkeit gekühlt wird, die einen niedrigeren Brechungsindex besitzt als die Festkörperkomponente, Licht von einer Erregerlichtquelle durch eine Lichterregungsvorrichtung einschließlich eines optischen Systems in die Festkörperkomponente eingeführt wird, um die Festkörperkomponente zu erregen, und bei der eine Erregungsverteilung in einem Schnitt bzw. Abschnitt der Festkörperkomponente durch Einstellung der Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente eingestellt werden kann.

Da somit bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung die Erregungsverteilung im Schnitt bzw. Abschnitt der Festkörperkomponente durch Einstellung der Oberflächenrauigkeit eingestellt wird, kann die Festkörperkomponente ein Laserstrahl ohne Wellenfrontaberration des hindurchdringenden Laserstrahles passieren.

Gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, bei der eine Festkörperkomponente peripher durch eine Flüssigkeit gekühlt wird, die einen niedrigeren Brechungsindex als die Festkörperkomponente aufweist, Licht von einer Erregerlichtquelle durch eine Lichterregungsvorrichtung einschließlich eines optischen Systems in die Festkörperkomponente eingeführt wird, um die Festkörperkomponente zu erregen, und die Festkörperkomponente so eingestellt wird, daß sie eine Oberflächenrauigkeit von $130 \mu''$ RMS oder mehr besitzt.

Somit wird daher bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung die Festkörperkomponente so eingestellt, daß sie eine Oberflächenrauigkeit von $130 \mu''$ RMS oder mehr besitzt. Licht von einer Lichtquelle, das auf die Festkörperkomponente trifft, wird daher auf einer Oberfläche der Festkörperkomponente gestreut. Folglich dient die Festkörperkomponente dazu, die Brechungswirkung des Lichtes der Lichtquelle auf der Oberfläche der Festkörperkomponente zu reduzieren.

Gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen, die einen Kondensor als Lichterregungsvorrichtung verwendet, um das Licht der Lichtquelle zu begrenzen.

Bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung begrenzt daher der Kondensor das Licht von der Lichtquelle, so daß das von einer rauen Oberfläche der Festkörperkomponente gestreute Licht so begrenzt wird, daß es wieder in die Festkörperkomponente eingeführt wird.

Gemäß dem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen,

bei der ein Kondensor Verwendung findet, der als Lichterregungsvorrichtung dient, um Licht von einer Lichtquelle zu begrenzen, und eine diffuse Reflexionsfläche an einem inneren Abschnitt aufweist.

Somit wird daher bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem vierten Aspekt der Erfindung das Licht der Lichtquelle durch den die diffuse Reflexionsfläche aufweisenden Kondensor begrenzt. Das von einer rauen Oberfläche der Festkörperkomponente gestreute Licht wird daher so begrenzt, daß es wieder in die Festkörperkomponente eingeführt wird, und die diffuse Reflexionsfläche führt einen Ausgleich des Lichtes der Lichtquelle im Kondensor herbei.

Gemäß dem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, die eine Vielzahl von Festkörperkomponenten aufweist, die in der Richtung einer optischen Achse angeordnet sind.

Bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung ist daher die Vielzahl der Festkörperkomponenten in Richtung der optischen Achse angeordnet, so daß die Länge eines Lasermediums ausgeweitet wird.

Gemäß dem sechsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, bei der eine Vielzahl von Festkörperkomponenten in Axialrichtung derselben angeordnet ist und eine optische Vorrichtung zur Heizlinsenkorrektur, die mindestens eine optische Linse aufweist, besitzt, die in mindestens einen der Zwischenräume zwischen den entsprechenden Festkörperkomponenten eingesetzt ist.

Bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem sechsten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist daher die Vielzahl der Festkörperkomponenten in axialer Richtung angeordnet. Des weiteren ist die optische Vorrichtung zur Heizlinsenkorrektur in mindestens einen der Zwischenräume zwischen den entsprechenden Festkörperkomponenten eingesetzt, um eine Heizlinse der Festkörperkomponente zu kompensieren.

Gemäß dem siebten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen, bei der ein Laserstrahl unter Verwendung eines stabilen Resonators von der Festkörperkomponente abgeleitet wird.

Somit dient bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem siebten Aspekt der vorliegenden Erfindung der stabile Resonator dazu, einen gleichmäßigen Laserstrahl in einem Abschnitt der Festkörperkomponente zu erzeugen.

Gemäß dem achten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen, bei der ein Laserstrahl unter Verwendung eines instabilen Resonators von der Festkörperkomponente abgeleitet wird.

Somit dient bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem achten Aspekt der vorliegenden Erfindung der instabile Resonator dazu, in einem Abschnitt der Festkörperkomponente einen gleichmäßigen Laserstrahl zu erzeugen.

Gemäß dem neunten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, bei der ein Laserstrahl unter Verwendung eines Laserresonators von der Festkörperkomponente abgeleitet wird, der einen Austrittsspiegel mit einem teilweise reflektierenden Abschnitt an einem mittleren Abschnitt und einem nicht reflektierenden Abschnitt an einem Umfangsabschnitt und einen einzigen Totalreflektionspiegel oder ein optisches System zur Heizlinsenkorrek-

tur besitzt.

Daher besitzt bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem neunten Aspekt der vorliegenden Erfindung der Laserresonator den Austrittsspiegel, der den teilweise reflektierenden Abschnitt am mittleren Abschnitt und den nicht reflektierenden Abschnitt am Umfangsabschnitt und den einzigen Totalreflektionsspiegel oder das optische System zur Heizlinsenkorrektur aufweist. Der Laserresonator erzeugt den gleichmäßigen Laserstrahl im Abschnitt der Festkörperkomponente und gibt nach außen einen soliden Laserstrahl ab.

Gemäß dem zehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen, bei der ein Laserstrahl unter Verwendung eines Laserresonators von der Festkörperkomponente abgeleitet wird, der einen Austrittsspiegel mit einem teilweise reflektierenden Abschnitt an einem mittleren Abschnitt, an einem nicht reflektierenden Abschnitt an einem Umfangsabschnitt und Einrichtungen zum Kompensieren einer Phasendifferenz des beide Abschnitte passierenden Laserstrahles und einen einzigen Totalreflektionsspiegel oder ein optisches System zur Heizlinsenkorrektur aufweist.

Daher besitzt bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem zehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung der Laserresonator den Austrittsspiegel, der den teilweise reflektierenden Abschnitt am mittleren Abschnitt und den nicht reflektierenden Abschnitt am Umfangsabschnitt aufweist, sowie die Einrichtungen zum Kompensieren der Phasendifferenz des beide Abschnitte durchdringenden Laserstrahles und den einzigen Totalreflektionsspiegel oder das optische System zur Heizlinsenkorrektur. Der Laserresonator erzeugt den gleichmäßigen Laserstrahl im Schnitt der Festkörperkomponente und gibt nach außen einen Festkörperlaserstrahl mit gleichmäßiger Phase ab.

Gemäß dem elften Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen, bei der ein von einer anderen Festkörperlaservorrichtung erzeugter Laserstrahl in die Festkörperkomponente eingeführt wird, um hieraus einen verstärkten Laserstrahl abzuleiten.

Daher wird bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem elften Aspekt der vorliegenden Erfindung der von einer anderen Festkörperlaservorrichtung erzeugte Laserstrahl in die Festkörperkomponente eingeführt, um nach außen den verstärkten Laserstrahl abzuleiten. Die Festkörperkomponente mit rauher Oberfläche verstärkt den Laserstrahl ohne Aberration.

Gemäß dem zwölften Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, bei der ein eine Vielzahl von optischen Komponenten aufweisendes optisches System als Teil des optischen Lasersystems verwendet wird, um mindestens einen der Abstände zwischen den optischen Komponenten zu steuern und entsprechend der Lichtabgabe von der Lichtquelle zu variieren.

Daher besitzt bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem zwölften Aspekt der Erfindung das optische System zur Heizlinsenkorrektur die Vielzahl der optischen Komponenten, um den Abstand zwischen den optischen Komponenten in Abhängigkeit von der Leistung der Lichtquelle zu steuern. Das optische System zur Heizlinsenkorrektur kann Schwankungen des Ausmaßes der Heizlinse einer Festkörperkomponente infolge von Schwankungen der Leistung der Lichtquelle beseitigen.

Gemäß dem dreizehnten Aspekt der vorliegenden Er-

findung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen, bei der ein optisches Bildübertragungssystem vom Reflexionstyp oder Transmissionstyp, das eine Vielzahl von optischen Komponenten aufweist, als Teil des optischen Lasersystems verwendet wird, wobei das System derart gesteuert wird, daß mindestens einer der Abstände zwischen den optischen Komponenten in Abhängigkeit von der Lichtausgangsleistung der Lichtquelle verändert wird.

Daher besitzt bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem dreizehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung ein optisches System zur Heizlinsenkorrektur ein optisches Bildübertragungssystem vom Reflexionstyp oder Transmissionstyp und beseitigt Schwankungen der Heizlinse einer Festkörperkomponente durch Bewegung des optischen Systems um kleine Abstände zwischen den optischen Teilen.

Gemäß dem vierzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, bei der ein Halbleiterlaser als Lichtquelle Verwendung findet.

Daher wird bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem vierzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung der Halbleiterlaser als Lichtquelle verwendet, um den Grad der Heizabsorption der Lichtquelle durch die Festkörperkomponente zu reduzieren und eine Erregungsverteilung einzustellen, die der Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente entspricht, indem eine erzeugende Wellenlänge des Halbleiterlasers eingestellt wird.

Gemäß dem fünfzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen, bei der ein von der Festkörperkomponente erzeugter Laserstrahl durch ein optisches System auf eine Endfläche einer optischen Faser geführt und eine Laserbearbeitung durch Verwendung des von der gegenüberliegenden Endfläche abgegebenen Laserstrahles durchgeführt wird.

Somit führt bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem fünfzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung die Festkörperkomponente, die eine raue Oberfläche aufweist, Licht in einem kleinen Punkt auf die Endfläche der optischen Faser ohne Aberration, wenn eine Laserbearbeitung durch Einführung des erzeugten Laserstrahles in die optische Faser durchgeführt wird.

Gemäß dem sechzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, bei der ein von der Festkörperkomponente erzeugter Laserstrahl durch ein kondensierendes bzw. konzentrierendes optisches System konzentriert wird, um eine Laserbearbeitung durchzuführen.

Daher erzeugt bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem sechzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung die Festkörperkomponente, die eine raue Oberfläche aufweist, einen Laserstrahl in einem kleinen Punkt ohne Aberration, wenn die Laserbearbeitung durch Konzentration des erzeugten Laserstrahles durchgeführt wird.

Gemäß dem siebzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung einschließlich einer Festkörperkomponente vorgesehen, die durch Kontakt einer Flüssigkeit gekühlt wird und einen größeren Brechungsindex besitzt als die Flüssigkeit, die eine Lichterregungsvorrichtung mit einer Lichtquelle zum Erregen der Festkörperkomponente und ein optisches System zur Übertragung des Lichtes von der Lichtquelle zur Festkörperkomponente aufweist. Des weiteren wird die Oberflächenrauigkeit der

Festkörperkomponente in Längsrichtung verändert, um eine Erregungsverteilung in einem Schnitt der Festkörperkomponente einzustellen.

Daher wird bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem siebzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung der Grad der Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente in Längsrichtung so verändert, daß die Festkörperkomponente die Erregungsverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente entsprechend der Längserregungsverteilung und einer Verteilung des erzeugten Laserstrahles gleichmäßig einstellen kann. Des weiteren kann die Festkörperkomponente den Grad der Oberflächenrauigkeit eines Endes einstellen, um auf diese Weise den Kontaktbereich der Kühlflüssigkeit mit einem Dichtungsmaterial auf einer Fläche der Festkörperkomponente zu erhöhen.

Gemäß dem achtzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen, die eine laseraktives Material enthaltende Festkörperkomponente, eine Erregerlichtquelle für die Festkörperkomponente, einen Laserresonator mit einem optischen Bildübertragungssystem einschließlich einer Kombination aus einem Totalreflexionsspiegel und einer Kondensorlinse und Bewegungseinrichtungen zum Bewegen des Totalreflexionsspiegels und der Kondensorlinse in Richtung der optischen Achse des Laserresonators aufweist.

Daher bilden bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem achtzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung der Totalreflexionsspiegel und die Kondensorlinse das Bildübertragungssystem im Laserresonator und werden in Richtung der optischen Achse des Laserresonators bewegt. Es ist somit möglich, den Weg des Laserlichtes im Laserresonator einzustellen und einen breiten Querschnittsbereich des Laserlichtes aufrechtzuerhalten, um einen Fokussiervorgang des Laserstrahles infolge einer Heizlinsenwirkung der Festkörperkomponente zu beseitigen.

Gemäß dem neunzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, die eine laseraktives Material enthaltende Festkörperkomponente, eine Erregerlichtquelle für die Festkörperkomponente, einen stabilen Laserresonator mit einer Kombination aus einem optischen Bildübertragungssystem einschließlich einer Kombination aus einem Totalreflexionsspiegel und einer Kondensorlinse mit einem Teilreflexionsspiegel und Bewegungseinrichtungen zum Bewegen des Totalreflexionsspiegels und der Kondensorlinse in Richtung der optischen Achse des stabilen Laserresonators aufweist.

Daher werden bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem neunzehnten Aspekt der vorliegenden Erfindung der Totalreflexionsspiegel und die Kondensorlinse durch die Bewegungseinrichtungen in Richtung der optischen Achse des stabilen Laserresonators, der die Kombination aus dem optischen Bildübertragungssystem einschließlich der Kombination des Totalreflexionsspiegels und der Kondensorlinse mit dem Teilreflexionsspiegel aufweist, bewegt. Es ist somit möglich, den Weg des Laserlichtes im Laserresonator einzustellen und einen breiten Querschnittsbereich des Laserlichtes aufrechtzuerhalten, während eine (glockenblumenförmige) Intensitätsverteilung in einem Schnitt der Festkörperkomponente aufrechterhalten wird, um eine Fokussierwirkung des Laserstrahles infolge einer Heizlinsenwirkung der Festkörperkomponente zu beseitigen.

Gemäß dem zwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorge-

sehen, die eine laseraktives Material enthaltende Festkörperkomponente, eine Erregerlichtquelle für die Festkörperkomponente, einen instabilen Laserresonator mit einer Kombination eines optischen Bildübertragungssystems einschließlich einer Kombination eines Totalreflexionsspiegels und einer Kondensorlinse mit einem vergrößerten Totalreflexionsspiegel und Bewegungseinrichtungen zum Bewegen des Totalreflexionsspiegels und der Kondensorlinse in Richtung der optischen Achse des Laserresonators aufweist.

Daher werden bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem zwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung der Totalreflexionsspiegel und die Kondensorlinse, die das Bildübertragungssystem bilden, durch die Bewegungseinrichtungen in Richtung der optischen Achse des instabilen Laserresonators, der die Kombination aus dem optischen Bildübertragungssystem einschließlich der Kombination des Totalreflexionsspiegels und der Kondensorlinse mit dem vergrößerten Totalreflexionsspiegel aufweist, bewegt. Es ist somit möglich, einen Weg des Laserlichtes im Laserresonator einzustellen und einen breiten Querschnittsbereich des Laserlichtes aufrechtzuerhalten, während eine gleichmäßige Intensitätsverteilung in einem Schnitt der Festkörperkomponente aufrechterhalten wird, um eine Fokussierwirkung des Laserstrahles infolge einer Heizlinsenwirkung der Festkörperkomponente zu beseitigen.

Gemäß dem einundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, die eine laseraktives Material enthaltende Festkörperkomponente, eine Erregerlichtquelle für die Festkörperkomponente, einen instabilen Laserresonator mit einer Kombination aus einem optischen Bildübertragungssystem einschließlich einer Kombination aus einem Totalreflexionsspiegel und einer Kondensorlinse mit einem vergrößerten Austrittsspiegel mit einem vergrößerten teilreflektierenden Abschnitt an einem mittleren Abschnitt und einem nicht reflektierenden Abschnitt an einem Umfangsabschnitt und Bewegungseinrichtungen zum Bewegen des Totalreflexionsspiegels und der Kondensorlinse in Richtung der optischen Achse des Laserresonators aufweist.

Somit ist bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem einundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung der vergrößerte Austrittsspiegel mit dem vergrößerten teilreflektierenden Abschnitt am mittleren Abschnitt und dem nicht reflektierenden Abschnitt am Umfangsabschnitt versehen. Es ist somit möglich, einen Laserstrahl vorzusehen, der einen massiven (d. h. pfannkuchenförmigen) Querschnitt aufweist.

Gemäß dem zweiundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen, die eine laseraktives Material enthaltende Festkörperkomponente, eine Erregerlichtquelle für die Festkörperkomponente, einen instabilen Laserresonator mit einer Kombination aus einem optischen Bildübertragungssystem einschließlich einer Kombination eines Gesamtreflexionsspiegels und einer Kondensorlinse und einem vergrößerten Austrittsspiegel mit einem vergrößerten teilreflektierenden Abschnitt an einem mittleren Abschnitt und einem nicht reflektierenden Abschnitt an einem Umfangsabschnitt, Phasendifferenzbeseitigungseinrichtungen zum Beseitigen einer Phasendifferenz des durch den vergrößerten teilreflektierenden Abschnitt und den nicht reflektierenden Abschnitt dringenden Lichtes und Bewegungseinrichtungen zum Bewegen des Totalreflexionsspiegels und der Kondensorlinse in Richtung der optischen Achse des

Laserresonators aufweist.

Somit umfaßt die Festkörperlaservorrichtung gemäß dem zweiundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung des weiteren die Phasendifferenzbeseitigungseinrichtungen. Es ist daher möglich, einen kompakten Laserstrahl mit einer gleichmäßigen Phase vorzusehen.

Gemäß dem dreiundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, die eine piezoelektrische Vorrichtung aufweist, die mit der Kondensorlinse und/oder dem Totalreflexionsspiegel, die das optische Bildübertragungssystem bilden, in Kontakt steht.

Somit steht bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem dreiundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung die piezoelektrische Vorrichtung mit der Kondensorlinse und/oder dem Totalreflexionsspiegel, die das optische Bildübertragungssystem bilden, in Kontakt und wird ausgeweitet sowie zusammengezogen, so daß ein Bildübertragungszustand zwischen einem stabilen Zustand und einem instabilen Zustand hin- und hergeschaltet werden kann. Es ist daher möglich, durch rasches Variieren des Q-Wertes eines Resonators eine scharfe Impulsschwingung zu erzeugen.

Gemäß dem vierundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, die des weiteren eine zweite Lichtquelle zur Abgabe eines die Festkörperkomponente durchlaufenden Lichtstrahles und einen Fotodetektor zum Empfangen des Lichtstrahles aufweist, um eine Veränderung im Außendurchmesser des Lichtstrahles zu messen.

Somit ist bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem vierundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung die zweite Lichtquelle vorgesehen, um den die Festkörperkomponente durchdringenden Lichtstrahl abzugeben, und der Fotodetektor ist vorgesehen, um den Lichtstrahl zu empfangen und eine Veränderung im Außendurchmesser des Lichtstrahles zu messen. Wenn daher eine piezoelektrische Vorrichtung in Abhängigkeit von den Detektionsergebnissen betrieben wird, ist es möglich, einen Heizlinseneffekt der Festkörperkomponente zu beseitigen, während Fluktuationen des Heizlinseneffektes über eine kurze Zeit genau gefolgt wird.

Gemäß dem fünfundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen, die des weiteren ein Gehäuse aufweist, das den Totalreflexionsspiegel und die Kondensorlinse aufnimmt.

Somit ist bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem fünfundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung das Gehäuse des weiteren vorgesehen, um den Totalreflexionsspiegel und die Kondensorlinse, die ein Bildübertragungssystem bilden, aufzunehmen. Es ist somit möglich, eine Qualitätsverschlechterung des Laserstrahles infolge von Staub, der an einem Konzentrationspunkt des Laserlichtes, der zwischen dem Totalreflexionsspiegel und der Kondensorlinse angeordnet ist, erhitzt wird, zu vermeiden.

Gemäß dem sechsundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Festkörperlaservorrichtung vorgesehen, die des weiteren ein Luftloch aufweist, das in einem Gehäuse angeordnet ist.

Somit ist bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem sechsundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung das Luftloch im Gehäuse vorgesehen. Es ist daher möglich, zu verhindern, daß in der Luft befindliche Feuchtigkeit einen Laserstrahl absorbiert, wenn ei-

ne Vakuumpumpe an das Luftloch angeschlossen ist. Alternativ dazu ist es möglich, einen Luftbruch (Erzeugung von Plasma) in der Nachbarschaft eines Konzentrationspunktes zu verhindern, indem in umgekehrter Weise ein inaktives Gas in das Gehäuse eingeführt wird.

Gemäß dem siebenundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Laserbearbeitungsvorrichtung vorgesehen, bei der ein von einer Laservorrichtung erzeugter Laserstrahl über ein optisches System in die Nähe eines Werkstückes geführt wird, ein vom optischen System abgegebener Laserstrahl durch ein optisches Kondensorsystem konzentriert wird und ein Laserstrahl durch Rückübertragung nach Konzentration durch das Kondensorsystem aufgeweitet und danach wieder konzentriert wird, um zum Werkstück geführt zu werden und die Laserbearbeitung durchzuführen.

Somit wird bei der Laserbearbeitungsvorrichtung gemäß dem siebenundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung der von der Laservorrichtung erzeugte Laserstrahl vom optischen System in die Nähe des Werkstückes geführt, wird der vom optischen System abgegebene Laserstrahl vom optischen Kondensorsystem konzentriert und wird der Laserstrahl nach dem Konzentrieren durch das Kondensorsystem durch Rückübertragung aufgeweitet und danach erneut konzentriert, um zum Werkstück geführt zu werden. Es ist daher möglich, eine Emissionsform des Laserstrahles in Abhängigkeit von der Form des Werkstückes zu übertragen und einen Laserstrahl vorzusehen, der einen scharfen Rand für die Laserbearbeitung besitzt.

Gemäß dem achtundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Laserbearbeitungsvorrichtung geschaffen, bei der ein von einer Laservorrichtung erzeugter Laserstrahl durch ein optisches System in die Nähe eines Werkstücks übertragen wird, ein vom optischen System abgegebener Laserstrahl durch ein optisches Kondensorsystem konzentriert, der Außendurchmesser des konzentrierten Strahles durch eine in der Nähe des Konzentrationspunktes des konzentrierten Strahles vorgesehene Blende beschnitten und zugerichtet wird und der Laserstrahl durch Rückübertragung nach Konzentration durch das Kondensorsystem aufgeweitet und danach erneut konzentriert wird, um zum Werkstück geführt zu werden und die Laserbearbeitung durchzuführen.

Somit wird bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem achtundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung der von der Laservorrichtung erzeugte Laserstrahl durch das optische System in die Nähe des Werkstücks übertragen, wird der vom optischen System abgegebene Laserstrahl durch das optische Kondensorsystem konzentriert, wird der Außendurchmesser des konzentrierten Strahles durch die in der Nähe des Konzentrationspunktes vorgesehene Blende beschnitten und zugerichtet und wird der Laserstrahl nach Konzentration durch das Kondensorsystem durch Rückübertragung aufgeweitet und danach erneut konzentriert, um dem Werkstück zugeführt zu werden. Es ist somit möglich, eine Emissionsform des Laserstrahles in Abhängigkeit von der Form des Werkstückes zu übertragen und einen Laserstrahl mit einem scharfen Rand für die Laserbearbeitung vorzusehen.

Gemäß dem neunundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Laserbearbeitungsvorrichtung geschaffen, bei der ein von einer Laservorrichtung erzeugter Laserstrahl über ein optisches System in die Nähe eines Werkstücks übertragen wird, ein vom optischen System abgegebener Laserstrahl durch ein opti-

sches Kondensorsystem konzentriert wird, ein Außendurchmesser des konzentrierten Strahles durch einen übersättigten Absorber, der in der Nähe des Konzentrationspunktes des konzentrierten Strahles vorgesehen ist, beschnitten und zugerichtet wird und der Laserstrahl nach der Konzentration durch das Kondensorsystem durch Rückübertragung aufgeweitet und danach erneut konzentriert wird, um dem Werkstück zugeführt zu werden und die Laserbearbeitung durchzuführen.

Daher wird bei der Festkörperlaservorrichtung gemäß dem neunundzwanzigsten Aspekt der vorliegenden Erfindung der von der Laservorrichtung erzeugte Laserstrahl vom optischen System in die Nähe des Werkstücks geführt, wird der vom optischen System abgegebene Laserstrahl durch das optische Kondensorsystem konzentriert, wird der Außendurchmesser des konzentrierten Strahles durch den in der Nähe des Konzentrationspunktes vorgesehenen übersättigten Absorber beschnitten und zugerichtet und wird der Laserstrahl nach der Konzentration durch das Kondensorsystem durch Rückübertragung aufgeweitet und danach erneut konzentriert, um dem Werkstück zugeführt zu werden. Es ist somit möglich, eine Emissionsform des Laserstrahles in Abhängigkeit von der Form des Werkstückes zu übertragen und einen Laserstrahl mit einem scharfen Rand für die Laserbearbeitung vorzusehen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung im einzelnen erläutert. Es versteht sich, daß die Ausführungsbeispiele in keiner Weise den Schutzzumfang der Erfindung beschränken. Es zeigen:

Fig. 1a einen Querschnitt einer herkömmlich ausgebildeten Laservorrichtung;

Fig. 1b einen Mittel schnitt durch die herkömmliche Laservorrichtung;

Fig. 2 eine erläuternde Darstellung der Funktionsweise der herkömmlichen Laservorrichtung;

Fig. 3a einen Querschnitt durch die erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3b einen Mittel schnitt der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 eine erläuternde Darstellung der Funktionsweise einer Laservorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 eine erläuternde Darstellung der Funktionsweise einer Laservorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 eine erläuternde Darstellung der Funktionsweise einer Laservorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

die Fig. 7a und 7b erläuternde Darstellungen der Funktionsweise einer Laservorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 8 eine erläuternde Darstellung der Funktionsweise einer Laservorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 9 eine erläuternde Darstellung der Funktionsweise einer Laservorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 10 eine erläuternde Darstellung der Funktionsweise einer Laservorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 11 ein Diagramm, das eine Modifikation der ersten Ausführungsform zeigt;

Fig. 12 ein Diagramm, das eine weitere Modifikation der ersten Ausführungsform zeigt;

Fig. 13a einen Querschnitt durch eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 13b einen Mittelschnitt der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

die Fig. 14a und 14b zur Erklärung dienende Darstellungen der Funktionsweise der Laservorrichtung gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung;

die Fig. 15a und 15b einen Querschnitt und einen Mittelschnitt einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 16 eine zur Erläuterung dienende Darstellung der Funktionsweise der Laservorrichtung gemäß der dritten Ausführungsform der Erfindung;

die Fig. 17a und 17b einen Querschnitt und einen Mittelschnitt einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

die Fig. 18a und 18b einen weiteren Querschnitt und einen weiteren Mittelschnitt der vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 19 einen Querschnitt einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 20 einen Querschnitt einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

die Fig. 21a und 21b einen Querschnitt und einen Mittelschnitt einer siebten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 22 eine Schnittansicht einer Festkörperlaservorrichtung gemäß einer achten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 23 eine zur Erläuterung dienende Ansicht eines optischen Bildübertragungssystems in der in Fig. 22 gezeigten Festkörperlaservorrichtung;

Fig. 24 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen einem Abstand zwischen optischen Komponenten des optischen Bildübertragungssystems der Fig. 23 und einem Krümmungsradius des optischen Bildübertragungssystems zeigt;

Fig. 25 ein Diagramm, das den Unterschied zwischen Divergenzwinkeln von Laserstrahlen in der Festkörperlaservorrichtung der Fig. 22 und in einer Laservorrichtung zeigt, in der ein Heizlinseneffekt nicht kompensiert wird;

Fig. 26 eine Schnittansicht einer Festkörperlaservorrichtung gemäß einer neunten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

die Fig. 27a und 27b Diagramme, die Muster von Laserstrahlen der Festkörperlaservorrichtung der Fig. 26 und einer Laservorrichtung zeigen; bei der der Heizlinseneffekt nicht kompensiert wird;

Fig. 28 eine Schnittansicht einer Festkörperlaservorrichtung gemäß einer zehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 29 eine Schnittansicht einer Festkörperlaservorrichtung gemäß einer elften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 30 eine Schnittansicht einer Festkörperlaservorrichtung gemäß einer zwölften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 31 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen einem Abstand zwischen optischen Komponenten und der Laserabgabeleistung bei dem optischen Bildübertragungssystem der Festkörperlaservorrichtung gemäß Fig. 26 zeigt;

Fig. 32 das Diagramm, das eine Impulsform zeigt, wenn eine Impulsschwingung in der Festkörperlaservorrichtung der Fig. 26 durchgeführt wird;

Fig. 33 eine Schnittansicht einer Festkörperlaservorrichtung gemäß einer dreizehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 34 eine Schnittansicht einer modifizierten Fest-

körperlaservorrichtung gemäß der dreizehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 35 ein Diagramm, das die Beziehungen zwischen der vom Start der Laserschwingung abgelaufenen Zeit und den Divergenzwinkeln des Laserstrahles bei der dreizehnten Ausführungsform der Festkörperlaservorrichtung und bei einer Laservorrichtung, bei der der Heizlinseneffekt nicht kompensiert wird, zeigt;

Fig. 36 eine Schnittansicht der Festkörperlaservorrichtung gemäß einer vierzehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 37 eine Schnittansicht der Festkörperlaservorrichtung gemäß einer fünfzehnten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 38 eine Schnittansicht der Festkörperlaservorrichtung gemäß einer sechzehnten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 39 eine Schnittansicht der Festkörperlaservorrichtung gemäß einer siebzehnten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 40 eine Schnittansicht der Festkörperlaservorrichtung gemäß einer achtzehnten Ausführungsform der Erfindung;

die Fig. 41a und 41b einen Querschnitt und einen Mittelschnitt der neunzehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

die Fig. 42a und 42b einen Querschnitt und einen Mittelschnitt einer zwanzigsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

die Fig. 43a und 43b einen Querschnitt und einen Mittelschnitt einer einundzwanzigsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

die Fig. 44a und 44b zur Erläuterung dienende Darstellungen der Funktionsweise der Laservorrichtung gemäß der einundzwanzigsten Ausführungsform der Erfindung;

die Fig. 45a und 45b einen Querschnitt und einen Mittelschnitt einer Modifikation der einundzwanzigsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

die Fig. 46a und 46b einen Querschnitt und einen Mittelschnitt einer zweiundzwanzigsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

die Fig. 47a und 47b einen Querschnitt und einen Mittelschnitt einer dreiundzwanzigsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Es werden nunmehr bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung in Verbindung mit der Zeichnung im einzelnen erläutert.

Ausführungsbeispiel 1

Die Fig. 3a und 3b sind Schnittansichten, die die erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen. In den Fig. 3a und 3b sind die mit den Bezugszeichen 2, 4, 5, 7, 8, 9, 14, 15, 70, 81 und 82 bezeichneten Teile mit denen der in den Fig. 1a und 1b gezeigten herkömmlichen Vorrichtung identisch, so daß auf eine Beschreibung dieser Teile verzichtet wird.

In den Fig. 3a und 3b sind mit 11 ein Reflexionsspiegel, mit 12 eine Linse, mit 13a und 13b entsprechende bewegliche Objektische, um den Reflexionsspiegel 11 und die Linse 12 relativ zu einer Festkörperkomponente vor und zurück zu bewegen, mit 300 die Festkörperkomponente, die eine raue Oberfläche besitzt, mit 6 ein Kondensor, der eine diffus reflektierende Fläche als Innenfläche aufweist, und mit 9 ein transparentes zylindrisches Glasrohr bezeichnet.

Bei einer in der vorstehend beschriebenen Weise aus-

gebildeten Festkörperlaservorrichtung sind die Lichtquelle 4 und die mit der rauhen Oberfläche versehene Festkörperkomponente 300 im Brennpunkt eines Kondensors angeordnet, der im Schnitt elliptisch ausgebildet ist. Die Lichtquelle 4 wird über die Stromquelle 5 zur Abgabe von Licht eingeschaltet, und die Festkörperkomponente 300 wird mit dem abgegebenen Licht angestrahlt. Somit wird die Festkörperkomponente durch das abgegebene Licht erregt und wird zu einem Lasermedium. Licht einer spontanen Emission wird vom Lasermedium erzeugt und während der Hin- und Herbewegung in einem die Spiegel 2, 11 und die Linse 12 aufweisenden Resonator verstärkt. Wenn das spontan emittierte Licht eine vorgegebene Größe oder mehr besitzt, wird es als Laserstrahl 15 mit guter Direktivität nach außen abgegeben.

Ein stabiler Resonator, der die Spiegel 2, 11 und die Linse 12 aufweist, erzeugt einen Laserstrahl, der eine im wesentlichen gleichmäßige Intensitätsverteilung in einem Schnitt der Festkörperkomponente aufweist.

Die Lichtquelle 4 und die Festkörperkomponente 300 werden von der Einströmöffnung 81 eingeführt. Die Festkörperkomponente 300 wird durch ein Kühlmedium 70, das durch das zylindrische Rohr 9 um die Lichtquelle 4 und die Festkörperkomponente 300 herum umgewälzt wird, in Umfangsrichtung gekühlt. Die Temperatur des Kühlmediums 70 steigt durch Kühlen der Festkörperkomponente 300 und der Lichtquelle 4 an, und das Kühlmedium 70 wird über die Ausströmöffnung 82 nach außen abgegeben.

Die Enden der Festkörperkomponente sind mit Hilfe des Dichtungsmaterials 7 gegenüber dem Kühlmedium abgedichtet.

Es folgt nunmehr eine zusätzliche Beschreibung eines Effektes der die raue Oberfläche aufweisenden Festkörperkomponente 300. Das Licht von der Lichtquelle fällt in Umfangsrichtung auf die Festkörperkomponente 300 und erzeugt eine Erregungsverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente 300, d. h. eine Heizlinsenverteilung, wie die Versuchsergebnisse der Fig. 2 zeigen. Als Folge hiervon passiert der Laserstrahl mit einer Wellenfrontaberration. Der hier verwendete Begriff "Heizlinse" bedeutet, daß infolge einer Temperaturverteilung in der Festkörperkomponente eine inhomogene Verteilung in bezug auf den Brechungsindex erzeugt wird, so daß die Festkörperkomponente als Linse wirkt.

Der Erfinder geht davon aus, daß dies darauf zurückzuführen ist, daß die Festkörperkomponente 300 keine ausreichende Oberflächenrauigkeit besitzt und das Licht auf der Oberfläche abgelenkt wird, wie in Fig. 4 gezeigt.

Um diesen Nachteil zu beseitigen, kann die Festkörperkomponente eine rauhere Oberfläche aufweisen und eine auf der Oberfläche der Festkörperkomponente gestreute Lichtkomponente kann stärker ansteigen als eine hieraufgelenkte Lichtkomponente, so daß die Heizlinsenverteilung im Schnitt aufgrund einer Reflexionswirkung eliminiert werden kann. Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Festkörperlaservorrichtung zu schaffen, die einen Laserstrahl ohne Wellenfrontaberration desselben hindurchleiten kann.

Fig. 5 zeigt die Ergebnisse eines Experimentes, bei dem die Wellenfrontaberration der Festkörperkomponente infolge der Heizlinsenverteilung durch Verändern der Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente gemessen wurde. Mit den Versuchsergebnissen werden zwei Fälle verglichen, d. h. ein Fall, bei dem ein Nd : YAG ($T_3Al_5O_{12}$) Stab mit einem Brechungsindex

von 1,82, der als Festkörperkomponente diente, in Umfangsrichtung mit Wasser mit einem Brechungsindex von 1,3 gekühlt wurde, und ein anderer Fall, bei dem der Nd : YAG-Stab in der Atmosphäre angeordnet wurde.

Bei dem Versuch wurde der Nd : YAG-Stab durch eine Bogenlampenlichtquelle in Wasser erregt, und ein HeNe-Laserstrahl durchlief den Nd : YAG-Stab in Axialrichtung. Der Maximalwert der Aberration im Schnitt des emittierten Laserstrahles wurde gemessen und ist in Fig. 5 gezeigt.

Man kann erkennen, daß die Wellenfrontaberration infolge der Erregungsverteilung bis zu einem Schwellenwert, der der Festkörperkomponente eigen ist, wesentlich reduziert werden kann, wenn die Oberflächenrauigkeit auf $50 \mu''$ RMS oder mehr festgelegt wird, wenn die Festkörperkomponente in der Atmosphäre angeordnet ist.

Bei der herkömmlichen Festkörperkomponente, die im Handel erhältlich ist, ist das Oberflächenfinish tatsächlich auf einen Bereich von einem polierten und transparenten Zustand bis zu einer Rauigkeit von $50 \mu''$ RMS eingestellt. Es ist erforderlich, eine parasitäre Schwingung mit einer Seitenfläche der Festkörperkomponente als optischen Weg zu vermeiden oder die Gleichmäßigkeit der optischen Intensitätsverteilung in Umfangsrichtung zu verbessern, was der gleichen Zielsetzung wie beim Stand der Technik entspricht. Es ist bekannt, daß diese Zielsetzung durch eine Festkörperkomponente erreicht werden kann, die eine Oberflächenrauigkeit von 20 bis $50 \mu''$ RMS aufweist und bei der die Oberfläche wie bei einem geschliffenen Glas sichtbar ist.

Wenn jedoch die Festkörperkomponente in Umfangsrichtung gekühlt wurde, um einen Hochleistungslaserstrahl zu erzeugen, wurde festgestellt, daß die Oberflächenrauigkeit um einen Wert eingestellt werden sollte, der ein Mehrfaches des Wertes beträgt, bei dem die Festkörperkomponente in der Atmosphäre angeordnet ist, beispielsweise auf einen Wert von $130 \mu''$ RMS oder mehr, bevor die Wellenfrontaberration der Übertragung im Schnitt der Festkörperkomponente auf im wesentlichen die Aberration reduziert werden konnte, die der Festkörperkomponente eigen ist.

Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß Wasser einen höheren Brechungsindex als die Atmosphäre aufweist, so daß daher der Unterschied der Brechungsindices der Festkörperkomponente und ihres Umfangsmediums abnimmt, was zu einer Reduktion des Streueffektes auf der Oberfläche führt.

Ein zweites Experiment wurde durchgeführt, um die vorstehend angegebene Annahme zu bestätigen, daß die Wellenfrontaberration bei einem Anstieg des Streueffektes auf der Oberfläche abnimmt.

In diesem Experiment wurde die Festkörperkomponente mit einem parallel gemachten HeNe-Laserstrahl 700 von der Seitenfläche der Festkörperkomponente ohne Erregung durch die Lichtquelle gemäß der in Fig. 6 gezeigten Konstruktion angestrahlt. Es wurde damit ein Fortpflanzungszustand des Lichtes im Schnitt der Festkörperkomponente beobachtet.

Da der Nd : YAG-Stab in zylindrischer Form vorgesehen ist, wurde der HeNe-Laserstrahl 700 konzentriert und lief gleichzeitig in einen Schnitt des Stabes gemäß Fig. 7a, wenn das Licht auf der Oberfläche abgelenkt wurde. Als jedoch die Festkörperkomponente eine rauhere Oberfläche besaß, um den Streueffekt zu erhöhen, wurde beobachtet, daß der HeNe-Laserstrahl sich diffus im Schnitt fortpflanzte, wie in Fig. 7b gezeigt und sich

nicht in konzentrierter Form bewegte.

Bei dem Versuch wurde ein diffuser Zustand, wie in Fig. 7b gezeigt, bei dem Fall beobachtet, bei dem die Oberflächenrauigkeit $50 \mu''$ RMS in der Atmosphäre betrug. Als jedoch die Festkörperkomponente in Wasser angeordnet war, wurde der in Fig. 7a gezeigte Zustand bei einer Oberflächenrauigkeit von $50 \mu''$ RMS beobachtet. Ferner mußte der Grad der Oberflächenrauigkeit erhöht werden, um eine Oberflächenrauigkeit von $100 \mu''$ RMS oder mehr zu erhalten, bevor der sich in diffuser Weise fortpflanzende Laserstrahl gemäß Fig. 7b nahezu vollständig beobachtet werden konnte.

Die Versuchsergebnisse bestätigen die Gültigkeit der nachfolgenden Aussage, die aufgrund der Ergebnisse des Erregungsversuchs durch die Lichtquelle getätigt wird: "Dies ist möglich, weil Wasser einen höheren Brechungsindex als die Atmosphäre besitzt, so daß auf diese Weise der Unterschied zwischen den Brechungsindices der Festkörperkomponente und des peripheren Mediums derselben abnimmt, was zu einer Reduzierung des Streueffektes auf der Oberfläche führt." Es wurde daher nachgewiesen, daß die Festkörperkomponente eine Oberflächenrauigkeit von 100 bis $130 \mu''$ RMS oder mehr, welcher Wert zweimal so groß ist wie die übliche Oberflächenrauigkeit oder mehr, aufweisen muß, bevor die Wellenfrontaberration des Durchtritts im Schnitt der Festkörperkomponente auf im wesentlichen die Aberration reduziert werden kann, die die Festkörperkomponente von Natur aus hat.

Die Streuwirkung auf der Oberfläche der Festkörperkomponente kann möglicherweise durch das Verhältnis zwischen dem Brechungsindex der Festkörperkomponente und dem Brechungsindex des peripheren Kühlmediums definiert werden. Daher können die Versuchsergebnisse auf das Wasser als Hauptkomponente enthaltende Kühlmedium und eine Festkörperkomponente, die einen Brechungsindex von etwa 1,8 oder weniger aufweist, wie beispielsweise eine LiYF_4 , Al_2O_3 , BeAl_2O_4 , Glas, LiSrAlF_6 , LiCaAlF_6 als Hauptbestandteile enthaltende Festkörperkomponente, übertragen werden.

Des weiteren kann die Oberflächenrauigkeit nur an einer Stelle vorgesehen werden, die vom Licht der Lichtquelle erreicht wird. Beispielsweise kann ein Kontaktabschnitt des Dichtungsmaterials 7 am Ende bei einer alternativen Ausführungsform keine Oberflächenrauigkeit besitzen.

In diesem Fall nimmt die Kontaktfläche zwischen dem Dichtungsmaterial und der Festkörperkomponente zu, so daß das Kühlmedium 70 in beständiger Weise abgedichtet werden kann.

Des weiteren gibt es ein anderes Verfahren zum Ausgleichen von Integralwerten der Intensitätsverteilung über den Schnitt durch axiales Verändern des Grades der Oberflächenrauigkeit entsprechend der Intensitätsverteilung des Laserstrahles.

Es folgt nunmehr eine zusätzliche Beschreibung des optischen Systems zum Einführen der Lichtquelle in die Festkörperkomponente gemäß Fig. 3.

Durch Erhöhung der Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente wird typischerweise der Wirkungsgrad der Laserschwingung reduziert. Das ist darauf zurückzuführen, daß ein Teil des in einen peripheren Abschnitt der Festkörperkomponente eingeführten Lichtes auf der rauhen Oberfläche rückwärts gestreut wird, was zu einem Verlust des Teillichtes führt.

Um einen reduzierten Wirkungsgrad zu vermeiden, findet der Kondensor 6 Anwendung, um das Licht von der Lichtquelle bei der in Fig. 3 gezeigten Ausführungs-

form einzugrenzen. Bei dieser Ausführungsform wird das Licht auf der Oberfläche der Festkörperkomponente rückwärts gestreut, vom Kondensor wieder reflektiert und erneut in die Festkörperkomponente eingeführt, um diese zu erregen. Daher ist es möglich, ein Absinken des Laserschwingungswirkungsgrades durch die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente im Gegensatz zum Stand der Technik zu verhindern.

Des weiteren ist bei der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform der Kondensor 6 mit der diffusen Reflexionsfläche als Innenfläche versehen. Bei einem reflektierenden Kondensor des Standes der Technik sind die Lichtquelle 4 und die Festkörperkomponente 300 an einem Brennpunkt des Kondensors, der im Schnitt elliptisch ausgebildet ist, angeordnet.

In diesem Fall verläuft das von der Lichtquelle durch die Festkörperkomponente ohne Absorption dringende Licht durch den Brennpunkt der Ellipse. Daher kann das Licht wieder auf die Festkörperkomponente treffen und diese erregen, nachdem die Reflexion drei- oder viermal im Kondensor wiederholt worden ist.

Das auf der Oberfläche der Festkörperkomponente gestreute Licht von der Lichtquelle kann jedoch in Abhängigkeit von der Streuung eine andere Bewegungsrichtung aufweisen, so daß das Licht nicht durch den Brennpunkt der Ellipse dringen kann. Es ist daher erforderlich, das Hin und Her der Reflexion für das wieder auf die Festkörperkomponente treffende Licht eine große Zahl von Malen zu wiederholen. Da das Reflexionsvermögen einer reflektierenden Fläche endlich ist, nimmt die Menge des Lichtes bei jeder Reflexion ab. Folglich wird nahezu das gesamte Streulicht schließlich von der reflektierenden Innenfläche absorbiert, bevor es in die Festkörperkomponente eingeführt wird.

Da bei der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform die diffuse Reflexionsfläche als Innenfläche vorgesehen ist, wird das auf der Oberfläche der Festkörperkomponente verstreute Licht auf der Innenfläche des Kondensors zerstreut und reflektiert, und mindestens ein Teil des Lichtes wird jedesmal in die Festkörperkomponente eingeführt, um diese zu erregen.

Danach wird die Lichtintensität im Kondensor ausgeglichen.

Es ist somit möglich, die Reduzierung des Laserschwingungswirkungsgrades, die infolge der Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente in herkömmlicher Weise beobachtet wurde, abzubauen.

Bei den Ergebnissen des Experimentes mit dem Nd : YAG-Stab und der Bogenlampe wurden in der Tat mit experimenteller Genauigkeit keine Veränderungen der Schwingungscharakteristik festgestellt, und zwar selbst dann, als die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente in einem Bereich von 50 bis 200 μ " RMS variierte.

Des weiteren findet bei der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform ein optisches System zur Heizlinsenkorrektur Verwendung, das den Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 anstelle des herkömmlichen Totalreflexionsspiegels 1 enthält. Dieses optische System wird nunmehr nachfolgend beschrieben.

Selbst wenn der Totalreflexionsspiegel 1 wie bei der herkömmlichen Ausführungsform verwendet wird, ist es möglich, einen Laserstrahl 15 mit besserer Strahlqualität vorzusehen, da die Festkörperkomponente eine verringerte Wellenfrontaberration bewirkt. Eine Änderung in der Abgabeleistung der Lichtquelle bewirkt jedoch eine Änderung der Leistung einer Heizlinse der Festkörperkomponente, so daß sich auf diese Weise die

Qualität des Laserstrahles 15 geringfügig ändert. Das den Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 enthaltende optische System wird eingesetzt, um diese Änderung zu beseitigen.

Der Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 sind an Positionen angeordnet, um einem Bildübertragungszustand gerecht zu werden. Er wird beispielsweise angenommen, daß R die Krümmung des Totalreflexionsspiegels, f die Brennweite der Kondensorlinse und L ($= R + f$) der Abstand zwischen dem Totalreflexionsspiegel und der Kondensorlinse ist. Hierbei kann ein Bild in einer Position, die um L von einer Vorderfläche der Kondensorfläche beabstandet ist, durch die Reflexion übertragen werden.

In diesem Fall kann das optische System in äquivalenter Weise als Reflexionsspiegel dienen, der eine geringere Krümmung besitzt, wenn der Abstand zwischen dem Totalreflexionsspiegel und der Kondensorlinse um eine geringe Größe, beispielsweise über den Tisch 13a oder den Tisch 13b, verändert wird.

Mit anderen Worten, das im linken Diagramm der Fig. 8 gezeigte optische Bildübertragungssystem entspricht einem Zustand, in dem sich ein Spiegel mit einer im rechten Diagramm der Fig. 8 gezeigten Krümmung in einer Position A im linken Diagramm der Fig. 8 befindet. Dieses optische System wird hiernach als Spiegel mit veränderlicher Krümmung zur Bildübertragung bezeichnet.

Der Krümmungsradius des Spiegels mit veränderlicher Krümmung ist proportional zu der inversen Abweichungsgröße von einer Basisdistanz, um dem Bildübertragungszustand zwischen der Linse und dem Reflexionsspiegel gerecht zu werden, wie im rechten Diagramm der Fig. 8 gezeigt. Folglich wird infolge der geringen Änderung der Distanz der Krümmungsradius gegenüber dem einer Ebene wesentlich geändert.

Fig. 9 zeigt die Beziehung zwischen dem Abstand zwischen der Linse und dem Spiegel und dem Krümmungsradius eines äquivalenten Spiegels. Man kann erkennen, daß sich die äquivalente Krümmung mit gutem Anspruchsverhalten in bezug auf eine geringe Distanzänderung ändern kann und daß der Krümmungsradius durch Änderung einer geringen Distanz von 0,5 mm in einem Bereich von unendlich bis etwa 2 mm stark verändert werden kann, da das optische Bildübertragungssystem verwendet wird.

Gemäß Fig. 3 kann das optische Bildübertragungssystem mit dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 die gleiche Funktion ausüben wie der in der Festkörperkomponente angeordnete Spiegel mit veränderlicher Krümmung. Mit anderen Worten, es ist möglich, die Heizlinse der Festkörperkomponente in der Nähe einer Position, in der sich die Heizlinse befindet, zu beseitigen.

Die Heizlinse der Festkörperkomponente ändert sich in Abhängigkeit von Änderungen der Energiequelle für die Lichtquelle. Der Abstand zwischen dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 wird durch die Objektische 13a oder 13b um eine geringe Größe verändert, um die äquivalente Krümmung des optischen Bildübertragungssystems zu verändern, wodurch die Änderung der Heizlinse aufgehoben wird. Auf diese Weise ist es möglich, einen Laserstrahl zu erzeugen, der eine gleichmäßige Abstrahlqualität besitzt, und zwar unabhängig von Änderungen der Heizlinse der Festkörperkomponente.

Insbesondere ist bei der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform die Energie der Heizlinse der Festkörper-

komponente aufgrund der Wirkung der rauen Oberfläche im Schnitt im wesentlichen konstant. Es tritt daher eine geringe Aberration auf, so daß die Heizlinse durch das optische Bildübertragungssystem über den gesamten Querschnitt korrigiert werden kann. Somit ist es möglich, einen Laserstrahl hoher Leistung und hoher Qualität in wirksamer Weise aus dem gesamten Schnitt der Festkörperkomponente zu erzeugen.

Fig. 10 zeigt Versuchsergebnisse in Bezug auf eine Messung des Divergenzwinkels, der als Index der Strahlqualität in Abhängigkeit von der Laserleistung dient, wenn der Nd:YAG-Stab als Festkörperkomponente verwendet wird. In Fig. 10 ist mit Linie A die herkömmliche Ausführungsform angegeben, bei der die Heizlinse nicht kompensiert wird, während Linie B einen Fall zeigt, bei dem die Heizlinse durch das optische Bildübertragungssystem kompensiert wird. Infolge der Kompensation der Heizlinse hängt der Divergenzwinkel kaum von der Laserleistung ab.

Das optische Bildübertragungssystem ist nicht auf eine Kombination aus dem Reflexionsspiegel und der Linse beschränkt. Es kann irgendein optisches System verwendet werden, das eine optische Krümmung aufweist, wobei das optische System als Äquivalenz zu einem optischen System angesehen werden kann, das in der Nähe der Festkörperkomponente angeordnet ist. Es stehen somit Modifikationen zur Verfügung, wie sie in den Fig. 11 und 12 gezeigt sind.

Fig. 11 zeigt Modifikationen, bei denen das optische Bildübertragungssystem Reflexionsspiegel 11 anstelle der Linse 12 verwendet. Wie aus diesen Modifikationen hervorgeht, sollte das optische Bildübertragungssystem nicht auf die in Fig. 3 gezeigte Kombination aus den Reflexionsspiegeln und der Linse beschränkt sein. Kurz gesagt, muß eine Vielzahl von optischen Systemen nur miteinander kombiniert und so eingesetzt werden, daß der Bildübertragungszustand erreicht wird.

Gemäß Fig. 12 ist ein optisches System mit einer Kombination aus dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 in einem Gehäuse 60 untergebracht. Es ist auf diese Weise möglich, die in der Atmosphäre vorhandenen Staubverschmutzung zu vermeiden und eine Qualitätsverschlechterung des Laserstrahles infolge der umgebenden Atmosphäre zu verhindern, die örtlich durch Staub erhitzt wird, der am Brennpunkt des optischen Systems erhitzt wird.

Gemäß der in Fig. 12 vorgesehenen Ausführungsform ist des weiteren ein Abführloch 61 vorgesehen, um den Druck im Gehäuse 60 zu reduzieren.

Auf diese Weise wird der durch die Festkörperkomponente 300 mit der rauen Oberfläche erzeugte Laserstrahl 14 hoher Qualität auf einen kleinen Fleck zwischen dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 konzentriert. Folglich ist es möglich, eine Plasmabildung (air break) zu verhindern.

Ausführungsbeispiel 2

Bei der in den Fig. 13a und 13b gezeigten Ausführungsform ist ein instabiler Resonator vorgesehen, bei dem ein vergrößerter Reflexionsspiegel 16, der Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 anstelle eines Teilreflexionsspiegels Verwendung finden.

Dieser instabile Resonator erzeugt einen Laserstrahl, der eine gleichmäßigere Intensitätsverteilung besitzt, da hierbei im Gegensatz zu dem stabilen Resonator ein Beugungseffekt auftritt.

Für Vergleichszwecke zeigen die Fig. 14a und 14b

Intensitätsverteilungen des Laserstrahles in der Festkörperkomponente, die in zwei Fällen erhalten werden, d. h. einem Fall, bei dem der stabile Resonator Verwendung wird (Fig. 14a), und einem anderen Fall, bei dem der instabile Resonator verwendet wird (Fig. 14b).

Da der Laserstrahl eine gleichmäßige Querschnittsform besitzt, kann der gleichmäßige Laserstrahl die Festkörperkomponente selbst in einem hohen Energiebereich, in dem der Laserstrahl teilweise von der Festkörperkomponente absorbiert wird und diese im Inneren erhitzt, gleichmäßig erhitzen. Daher wird durch gleichmäßiges Erregen des Inneren ein Lasermedium erzeugt, wobei die Gleichförmigkeit des Lasermediums aufgrund der Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente nicht gestört wird. Somit ist es möglich, selbst im hohen Energiebereich die Qualität des Laserstrahles aufrechtzuerhalten.

Bei der in den Fig. 13a und 13b gezeigten Ausführungsform ist ferner ein optisches Bildübertragungssystem dargestellt, das eine Kombination aus dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 umfaßt.

Bei dem Laser, bei dem der instabile Resonator Verwendung findet, besitzt ein vom Resonator abgeleiteter Laserstrahl eine Wellenfrontkrümmung, die sich in Abhängigkeit von der Heizlinsenwirkung der im Resonator angeordneten Festkörperkomponente verändert. Wenn daher die Änderung der Wellenfrontkrümmung durch Verwendung des optischen Bildübertragungssystems stabilisiert wird, ist es möglich, einen Laserstrahl mit einer stabilen äußeren Fortpflanzung zu erzeugen.

Ausführungsbeispiel 3

Bei der in den Fig. 15a und 15b gezeigten Ausführungsform ist ein Resonator vorgesehen, der einen vergrößerten Austrittsspiegel 25 anstelle des vergrößerten Reflexionsspiegels 16 der zweiten Ausführungsform, den Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 besitzt. Der vergrößerte Austrittsspiegel 25 umfaßt einen Teilreflexionsspiegel 26 an einem mittleren Abschnitt und einen nicht reflektierenden Abschnitt 27 an einem Umfangsabschnitt des mittleren Abschnitts.

Bei dieser Ausführungsform ist es möglich, im Inneren einen Laserstrahl vorzusehen, der eine Intensitätsverteilung besitzt, die im wesentlichen die gleiche Form wie die in Fig. 12 gezeigte hat. Darüber hinaus ist es möglich, nach außen einen kompakten Laserstrahl (einschließlich eines vollständig kompakten Mittelstrahles) vorzusehen, wie in Fig. 16 gezeigt, d. h. einen Laserstrahl, der ein gutes Konzentrationsvermögen aufweist.

Im Vergleich zu der zweiten Ausführungsform ist es somit möglich, die Intensität eines Laserstrahles 28, die für das gleiche Konzentrationsverhalten erforderlich ist, und die Heizmenge, die infolge der Absorption des Laserstrahles durch die Festkörperkomponente erzeugt wird, zu reduzieren. Somit kann von der Festkörperkomponente entwickelte Wärme verringert werden und selbst im hohen Energiebereich ein Laserstrahl hoher Qualität auf stabile Weise erzeugt werden.

Ausführungsbeispiel 4

Bei der in den Fig. 17a und 17b gezeigten Ausführungsform wird zusätzlich zu den Merkmalen der dritten Ausführungsform eine Phasendifferenz zwischen einem den mittleren teilreflektierenden Spiegel 26 und einem den peripheren nicht reflektierenden Abschnitt 27 durchdringenden Laserstrahl beseitigt, indem der

teilreflektierende Spiegel 26 mit einer Dicke, die ein Mehrfaches der normalen Dicke beträgt, vorgesehen ist oder indem in einer Außenfläche des Spiegels eine Stufe 35 vorgesehen ist, wie in den Fig. 18a, 18b gezeigt. Es ist auf diese Weise möglich, einen Festkörperlaserstrahl mit gleichmäßiger Phase vorzusehen.

Somit kann das Kondensationsvermögen des Laserstrahles weiter verbessert werden. Es ist daher möglich, die Intensität eines Laserstrahles 7, die für das gleiche Konzentrationsvermögen erforderlich ist, niedriger zu machen als bei der dritten Ausführungsform und die Heizmenge zu reduzieren, die durch Absorption des Laserstrahles durch die Festkörperkomponente erzeugt wird. Somit kann die von der Festkörperkomponente entwickelte Wärme reduziert werden, um selbst in einem hohen Energiebereich auf stabile Weise einen Laserstrahl hoher Qualität zu erzeugen.

Ausführungsbeispiel 5

Bei der in Fig. 19 gezeigten Ausführungsform wird eine Festkörperkomponente mit rauher Oberfläche so erregt, das sie zu einem Lasermedium wird, wobei die Festkörperkomponente als Verstärker für einen Laserstrahl verwendet wird.

Während in Fig. 19 eine als Oszillator dienende Laservorrichtung auf der linken Seite der Figur dargestellt ist und der Vorrichtungen der Fig. 3a und 3b entspricht, ist eine auf der rechten Seite dargestellte und als Verstärker dienende Laservorrichtung nicht mit einem Resonator versehen und verstärkt den von der Laservorrichtung auf der linken Seite erzeugten Laserstrahl 15, so daß dieser als Laserstrahl 150 nach außen abgegeben wird.

Durch eine solche Kombination aus einem Oszillator und einem Verstärker wird ein Laserstrahl hoher Energie erzeugt, der besonders wirksam ist, wenn die Lichtquelle 4 die Festkörperkomponente 300 pulsformig erregt.

Der Laserstrahl 15 kann ohne Aberration im Schnitt verstärkt werden, weil die Festkörperkomponente die raue Oberfläche besitzt. Mit anderen Worten, der Laserstrahl 15 wird bei konstanter Strahlqualität in hohem Maße verstärkt und kann als Laserstrahl 150 abgeleitet werden.

Obwohl diese Ausführungsform in Verbindung mit der Festkörperlaservorrichtung gemäß Fig. 1, die den Laserresonator verwendet, beschrieben wurde, ist es möglich, den gleichen Effekt mit irgendeiner der Festkörperlaservorrichtungen der Ausführungsformen 2, 3 und 4 zu erzielen.

Ausführungsbeispiel 6

Bei der in Fig. 20 gezeigten Ausführungsform ist eine Vielzahl von Festkörperkomponenten 300 in Richtung einer optischen Achse angeordnet. Auf diese Weise kann ein Lasermedium in Längsrichtung ausgeweitet werden, um einen Laser mit hoher Energie zu erzeugen.

Es ist schwierig, die Vielzahl der Festkörperkomponenten zu kombinieren, wenn die entsprechenden Festkörperkomponenten keine Aberration aufweisen. Daher ist es erforderlich, die Festkörperkomponenten so auszuwählen, daß sich die Aberrationen der Vielzahl der Festkörperkomponenten teilweise neutralisieren können.

Bei dieser Ausführungsform ist wegen der Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponenten nur eine

kleine Aberration im Schnitt derselben vorhanden, so daß das längliche Lasermedium erhalten werden kann, indem die Vielzahl der Festkörperkomponenten ohne jegliche Auswahl derselben kombiniert wird. Mit Hilfe des Lasermediums läßt sich der Laserstrahl hoher Energie mit niedrigen Kosten erzeugen.

Bei der in Fig. 20 gezeigten sechsten Ausführungsform werden Linsen 12a und 12b als optisches System zur Heizlinsenkorrektur verwendet einschließlich eines durchlässigen optischen Bildübertragungssystems, das wie der in Fig. 8 gezeigte Spiegel mit veränderlicher Krümmung betrieben werden kann. Die Linsen 12a und 12b sind zwischen die Vielzahl der Festkörperkomponenten eingesetzt, um die Heizlinse der Festkörperkomponente zu korrigieren. Es ist somit möglich, einen geringfügigen Fokussiereffekt oder eine geringfügige Divergenz durch Einstellung des Raumes zwischen den beiden Linsen 12a und 12b zu erhalten.

Da die entsprechenden Festkörperkomponenten eine geringe Aberration besitzen, ist es möglich, die Heizlinse der Festkörperkomponente in einfacher Weise zu korrigieren, indem die Linse zwischen die entsprechenden Festkörperkomponenten eingesetzt wird.

Wie in Fig. 20 gezeigt, ist die Kondensorlinse 12 auf dem Objektisch 13b angeordnet, und die Abstände zwischen den entsprechenden Linsen werden in Abhängigkeit von den Ausgangsleistungen der Erregungslichtquellen 4, d. h. entsprechend der Größe der Heizlinsen der Festkörperkomponenten 300, verändert. Es ist somit möglich, eine solche Steuerung durchzuführen, daß die Vielzahl der Festkörperkomponenten 300 konstante Wirkungen auf den die Vielzahl der Festkörperkomponenten durchdringenden Laserstrahl ausübt, und zwar unabhängig von der Ausgangsleistung der Lichtquelle, d. h. dem erzeugten Laser.

Obwohl diese Ausführungsform in Verbindung mit der Festkörperlaservorrichtung beschrieben wurde, die den Laserresonator der Ausführungsform 1 verwendet, ist es auch möglich, den gleichen Effekt bei sämtlichen Festkörperlaservorrichtungen der Ausführungsformen 2, 3 und 4 zu erreichen.

Ausführungsbeispiel 7

Bei der in den Fig. 21a und 21b gezeigten Ausführungsform findet ein Halbleiterlaser 400 als Lichtquelle 4 Verwendung. Wenn ein Halbleiterlaser verwendet wird, der eine kürzere Wellenlänge ähnlich der eines Laserstrahles besitzt, wenn der Halbleiterlaser als Lichtquelle eingesetzt wird, ist es möglich, den Grad der Wärmeabsorption durch die Festkörperkomponente auf einen niedrigeren Wert zu bringen als in dem Fall, in dem eine Lampe als Lichtquelle verwendet wird. In den Fig. 21a und 21b ist mit 410 eine optische Komponente bezeichnet, die aus Glas o. ä. besteht, um das Licht des Halbleiters so zu begrenzen, das es in den Kondensor 6 eingeführt wird.

Es ist damit möglich, die Heizlinsenverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente zu reduzieren. Da die Festkörperkomponenten zusätzlich zu dieser Form eine raue Oberfläche besitzen, ist es ferner möglich, die Heizlinsenverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente niedriger zu machen als bei Verwendung einer Lampe als Lichtquelle in einem Test, bei dem die gleiche Laserausgangsleistung verwendet wurde. Somit ist es möglich, einen Laserstrahl hoher Energie und hoher Qualität zu erreichen.

Falls der Halbleiterlaser verwendet wird, ist es ferner

möglich, die Erregungsverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente einzustellen, indem die Wellenlänge und der Absorptionskoeffizient des Halbleiterlaserlichtes in der Festkörperkomponente verändert werden.

Wenn beispielsweise der Halbleiterlaser mit einer Wellenlänge erregt wird, die nahe an der Absorptionswellenlänge der Festkörperkomponente liegt, kann die Ausgangsleistung der Lichtquelle in der Nachbarschaft der Oberfläche der Festkörperkomponente beträchtlich absorbiert werden, was zur Ausbildung einer starken Erregungsverteilung in der Nachbarschaft der Oberfläche führt.

Wenn im Gegensatz hierzu der Halbleiterlaser mit einer Wellenlänge erregt wird, die von der Absorptionswellenlänge der Festkörperkomponente weit entfernt ist, durchdringt das abgegebene Licht die Festkörperkomponente tief und wird danach von dieser absorbiert. Folglich liegt eine relativ intensive Erregerverteilung in der Nachbarschaft eines mittleren Abschnittes der Festkörperkomponente vor.

Es ist somit möglich, die Erregungsverteilung durch Verwendung der Wellenlänge des Halbleiterlasers und durch Ausnutzung der Rauigkeit der Oberfläche der Festkörperkomponente einzustellen.

Wenn daher die Wellenlänge des als Lichtquelle dienenden Halbleiterlasers in Abhängigkeit vom Zustand der Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente eingestellt wird, ist es möglich, eine Erregungsverteilung vorzusehen, die eine Intensitätsverteilung mit größerer Gleichmäßigkeit im Schnitt der Festkörperkomponente aufweist, d. h. ein gleichmäßiges Lasermedium und ein Lasermedium ohne jegliche Aberration.

Obwohl diese Ausführungsform in Verbindung mit der Festkörperlaservorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform, bei der ein Laserresonator Verwendung findet, beschrieben wurde, ist es auch möglich, den gleichen Effekt mit irgendeiner der Festkörperlaservorrichtungen der Ausführungsformen 2, 3 und 4 zu erreichen.

Ausführungsbeispiel 8

Fig. 22 ist eine Schnittansicht, die eine Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 8 zeigt.

In Fig. 22 sind mit 11 ein Totalreflexionsspiegel mit einem Krümmungsradius R , mit 12 eine Kondensorlinse, mit 13a und 13b entsprechende bewegliche Tische zur Bewegung des Reflexionsspiegels 11 und der Linse 12 relativ zum Teilreflexionsspiegel 2 vor und zurück, mit 14 das in einem Laserresonator (der den Totalreflexionsspiegel 11, den Teilreflexionsspiegel 2 und die Kondensorlinse 12 umfaßt) erzeugte Laserlicht und mit 15 ein von der Laservorrichtung abgegebener Laserstrahl bezeichnet.

Es wird nunmehr die Funktionsweise erläutert. Wie bei der Festkörperlaservorrichtung des Standes der Technik gibt die Erregungslichtquelle 4 Licht ab, wenn die Stromquelle 5 eingeschaltet wird. Das abgegebene Licht wird in der Festkörperkomponente 3 durch die Wirkung des Kondensors 6 in einer Festkörperlaservorrichtung dieser Ausführungsform konzentriert. Danach wird die Festkörperkomponente 3 durch Empfang des Lichtes von der Lichtquelle 4 erregt, so daß das Laserlicht 14 erzeugt wird. Bei dieser Ausführungsform wird das Laserlicht 14 im Laserresonator, der den Totalreflexionsspiegel 11, den Teilreflexionsspiegel 12 und die Kondensorlinse 12 umfaßt, verstärkt. Des weiteren wird das Laserlicht 14 nach außen abgegeben, indem es als Laserstrahl 15 den Teilreflexionsspiegel 2 durchdringt,

nachdem das Laserlicht 14 eine vorgegebene Intensität erreicht hat.

Es wird nunmehr ein optisches Bildübertragungssystem einschließlich des Totalreflexionsspiegels 1 und der Kondensorlinse 12 beschrieben, das einen Hauptgegenstand der Erfindung darstellt. Bei dem optischen Bildübertragungssystem handelt es sich um ein optisches System, bei dem das von einem Punkt des optischen Systems abgegebene Licht selbst übertragen wird, indem es das optische System durchdringt, und eine wesentliche zurückgelegte optische Distanz gleich Null ist. Mit anderen Worten, hierdurch wird ein Bildübertragungszustand erreicht. Bei der Festkörperlaservorrichtung der Erfindung sind der Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 in Positionen angeordnet, die zu allererst diese Bildübertragungsbedingung erfüllen. Wenn f die Brennweite der Kondensorlinse 12, R ($= f$) der Krümmungsradius des Totalreflexionsspiegels 11 und L ($= R + f = 2f$) der Abstand zwischen dem Totalreflexionsspiegel und der Kondensorlinse ist, durchdringt ein Bild in einer Position, die von der Vorderfläche der Kondensorlinse 12 um L entfernt ist, die Kondensorlinse 12 und wird danach durch den Totalreflexionsspiegel in eine Ausgangsposition übertragen. Wenn der Abstand zwischen dem Totalreflexionsspiegel und der Kondensorlinse durch die Objektische 13a, 13b um den kleinen Betrag ($= 2\Delta f$) verändert wird, kann das gesamte optische System in äquivalenter Weise als Totalreflexionsspiegel mit einem variablen Krümmungsradius R ($= f/2\Delta$) wirken.

Bei dem auf der linken Seite der Fig. 23 gezeigten optischen Bildübertragungssystem sind die Kondensorlinse 12 (mit der Brennweite f) und der Totalreflexionsspiegel 11 (mit dem Krümmungsradius R ($= f$)) in einem Intervall von $2f$ ($1 + \Delta$) angeordnet, das durch Vergrößerung der Ausgangsdistanz L ($= 2f$) um $2\Delta f$ erhalten wurde. Das optische Bildübertragungssystem entspricht dem Fall, bei dem ein Totalreflexionsspiegel 16A mit einem Krümmungsradius R_1 ($= f/2\Delta$), der auf der rechten Seite der Fig. 23 gezeigt ist, in einer mit A bezeichneten Position angeordnet ist (die von der Vorderfläche der Kondensorlinse 12 den Abstand L hat). Daher wird das optische Bildübertragungssystem hiernach als Bildübertragungssystem mit veränderlicher Krümmung oder als Reflexionsspiegel mit veränderlicher Krümmung bezeichnet. Wie vorstehend angegeben, ist der Krümmungsradius R_1 des Bildübertragungsspiegels 16A mit veränderlicher Krümmung proportional zu einem Wert $1/2\Delta$, bei dem es sich um eine Abweichung von einer Basisdistanz L zwischen der Kondensorlinse 12 und dem Gesamtreflexionsspiegel 11 handelt, um die Bildübertragungsbedingung zu erfüllen. Der Bildübertragungsspiegel 16A mit veränderlicher Krümmung ist daher wegen dieser feinen Abweichung wesentlich anders als der Totalreflexionsspiegel 1 (bei dem es sich um einen ebenen Spiegel mit unendlichem Krümmungsradius handelt) der Laservorrichtung des Standes der Technik.

Fig. 24 zeigt die Beziehung zwischen dem Abstand zwischen der Kondensorlinse 12, die eine Brennweite von $f = 50$ mm besitzt, und dem Totalreflexionsspiegel 11 und dem Krümmungsradius des Bildübertragungsspiegels mit veränderlicher Krümmung, der zu dem optischen Bildübertragungssystem äquivalent ist. Der Krümmungsradius dieses Spiegels kann in guter Ansprache auf eine geringfügige Veränderung des Abstandes geändert werden, da das optische Bildübertragungssystem als Stammkorpus des Spiegels dienen kann. Bei-

spielsweise kann der Krümmungsradius in einem Bereich von unendlich bis etwa 2 m (2000 mm) im großen Umfang verändert werden, selbst wenn die Größe der Abweichung Δf nur um 0,0005 mm variiert wird.

Somit kann das optische Bildübertragungssystem einschließlich des Totalreflexionsspiegels 11 und der Kondensorlinse 12 und der beweglichen Tische 13a, 13b gemäß Fig. 22 in der gleichen Weise funktionieren wie das optische Bildübertragungssystem, bei dem der Reflexionsspiegel mit veränderlicher Krümmung in der Festkörperkomponente 3 angeordnet ist. Mit anderen Worten, durch eine Änderung der der Stromquelle 5 zugeführten Energie wird die Intensität des Erregungslichtes von der Erregerlichtquelle 4 verändert. Daher ändert sich der Heizlinseneffekt der Festkörperkomponente 3. Es ist jedoch möglich, den äquivalenten Krümmungsradius des optischen Bildübertragungssystems, das den Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 umfaßt, durch Bewegung der beweglichen Objektische 13a, 13b geringfügig zu verändern.

Daher ist es bei der achten Ausführungsform möglich, den Heizlinseneffekt der Festkörperkomponente im Resonator durch Kompensation dieses Heizlinseneffektes in Abhängigkeit von der Laserausgangsleistung zu beseitigen und auf diese Weise den Weg des Laserlichtes 14 zu korrigieren. Ferner kann ein breiter Querschnittsbereich des Laserlichtes 14 durch Änderung des Krümmungsradius unabhängig von der Änderung der der Stromquelle 5 zugeführten Energie aufrechterhalten werden. Gemäß der achten Ausführungsform ist es somit möglich, Änderungen der Heizlinse des Laserlichtes 14 in der Nachbarschaft der Erzeugungsposition desselben sehr genau zu korrigieren, ohne daß dies irgendwelche Auswirkungen auf andere Abschnitte des Resonators hat, da das optische Bildübertragungssystem die wesentliche optische Fortpflanzungsdistanz von Null besitzt, wodurch eine konstante Funktionsweise des Resonators (ohne Divergenz des Laserstrahles) aufrechterhalten werden kann.

Fig. 25 ist ein Diagramm, das Änderungen des Divergenzwinkels eines Laserstrahles in Abhängigkeit von der Laserausgangsleistung (die von der zugeführten Energie der Energiequelle für die Lichtquelle abhängig ist) zeigt, wenn ein Nd : YAG-Kristall als Festkörperkomponente verwendet wird. In Fig. 25 wird zwischen zwei Ausführungsformen verglichen, d. h. der Ausführungsform 8, bei der der Heizlinseneffekt durch das optische Bildübertragungssystem der Ausführungsform 8 kompensiert wird, und einem Vergleichsbeispiel, bei dem der Heizlinseneffekt nicht kompensiert wird. Bei dem Vergleichsbeispiel der Fig. 25 steigt der Divergenzwinkel beträchtlich an, da ein Anstieg der Laserausgangsleistung den Heizlinseneffekt ansteigen läßt. Im Gegensatz hierzu kann man erkennen, daß der Divergenzwinkel des Laserstrahles beim Ausführungsbeispiel 8 unabhängig von der Laserausgangsleistung ist und durch die Kompensation des Heizlinseneffektes im wesentlichen konstant wird.

Ausführungsbeispiel 9

Es wird nunmehr Ausführungsbeispiel 9 in Verbindung mit den Fig. 26 und 27a und 27b erläutert. Fig. 26 ist eine Schnittansicht, die eine Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 9 zeigt. In Fig. 26 sind die Teile mit den Bezugszeichen 3 bis 8 und 11 bis 13b mit denen der Vorrichtung des Ausführungsbeispiels 8 identisch. Mit 16 sind ein vergrößerter Totalreflexions-

spiegel, mit 17 ein Teilreflexionsspiegel, mit 18 Laserlicht, das in einem Laserresonator (der den Totalreflexionsspiegel 11, die Kondensorlinse 12, den vergrößerten Totalreflexionsspiegel 16 und den Teilreflexionsspiegel 17 umfaßt) erzeugt wird, und mit 19 ein von der Laservorrichtung abgegebener Laserstrahl bezeichnet.

Die Festkörperlaservorrichtung der neunten Ausführungsform funktioniert grundsätzlich wie die Festkörperlaservorrichtung der achten Ausführungsform, mit der nachfolgenden Ausnahme. Bei der neunten Ausführungsform finden der vergrößerte Totalreflexionsspiegel 16 und der meniskusförmige Teilreflexionsspiegel 17 anstelle des Teilreflexionsspiegels 2 der Fig. 22 Verwendung. Des weiteren umfaßt ein instabiler Resonator einen Bildübertragungsspiegel veränderlicher Krümmung, der den vergrößerten Totalreflexionsspiegel 16, den meniskusförmigen Teilreflexionsspiegel 17, die Kondensorlinse 12 und den Totalreflexionsspiegel 11 umfaßt. Wenn der instabile Resonator Verwendung findet, findet eine wiederholte Divergenz (durch den vergrößerten Totalreflexionsspiegel 16) und Konzentration (durch den Totalreflexionsspiegel 11) des Laserlichtes 18 im Resonator statt. Folglich ist es möglich, eine Festkörperkomponente 300 mit im wesentlichen gleichmäßiger Intensitätsverteilung im Schnitt vorzusehen.

Die Fig. 27a und 27b zeigen Strahlenmuster (d. h. Intensitätsverteilungen in Querschnittsrichtung des Laserlichtes) für zwei Fälle, d. h. einen Fall, bei dem der instabile Resonator (Ausführungsform 9) Verwendung findet, und einen anderen Fall, bei dem der stabile Resonator verwendet wird. Wie die Fig. 27a und 27b zeigen, ist die Intensität des Laserlichtes bei der Festkörperlaservorrichtung der Ausführungsform 9 in Schnittrichtung desselben gleichmäßig im Vergleich zu der glockenblumenförmigen Intensitätsverteilung beim stabilen Resonator.

Daher kann bei der neunten Ausführungsform die Festkörperkomponente 3 entlang ihrem Querschnitt gleichmäßig erhitzt werden, und zwar selbst in einem Bereich hoher Energie, in dem das Laserlicht teilweise von der Festkörperkomponente 3 absorbiert wird, um diese zu erhitzen. Folglich ist es möglich, im Querschnitt eines Lasermediums (Festkörperkomponente) 3 der neunten Ausführungsform einen konstanten Heizlinseneffekt der Festkörperkomponente zu erreichen und die Kompensation des Heizlinseneffektes durch einen Bildübertragungsspiegel veränderlicher Krümmung (der die Kombination aus dem Totalreflexionsspiegel 11, der Kondensorlinse 12 und den beweglichen Objektischen 13a, 13b umfaßt) zu erleichtern. Es ist ferner möglich, den Heizlinseneffekt genau zu beseitigen und auf diese Weise einen stabilen Laserstrahl hoher Qualität 19 (d. h. einen nicht divergierenden Laserstrahl) vorzusehen.

Ausführungsbeispiel 10

Es wird nunmehr Ausführungsbeispiel 10 in Verbindung mit Fig. 28 beschrieben. Fig. 28 ist eine Schnittansicht, die eine Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 10 zeigt. In Fig. 28 sind die Teile mit den Bezugszeichen 3 bis 8, 11 bis 13b und 17 mit denen des Ausführungsbeispiels 9 identisch. Mit 25 ist ein vergrößerter Austrittsspiegel bezeichnet, der einen mittleren Teilreflexionsspiegel (vergrößerter Teilreflexionsabschnitt) 26 und einen peripheren nicht reflektierenden Abschnitt 27 aufweist. Mit 28 ist Laserlicht bezeichnet, das in einem Laserresonator (der den Totalreflexionsspiegel 11, die Kondensorlinse 12, den vergrößerten

Austrittsspiegel 25 und den Teilreflexionsspiegel 17 umfaßt) erzeugt wird, und mit 29 ist ein von der Laservorrichtung abgegebener Laserstrahl bezeichnet.

Die Festkörperlaservorrichtung der zehnten Ausführungsform funktioniert grundsätzlich wie die Festkörperlaservorrichtung der vorstehend beschriebenen Ausführungsform 9, mit der nachfolgenden Ausnahme. Bei der zehnten Ausführungsform findet der vergrößerte Austrittsspiegel 25 anstelle des vergrößerten Totalreflexionsspiegels 16 der Fig. 26 Verwendung, und ein instabiler Resonator umfaßt einen Bildübertragungsspiegel mit veränderlicher Krümmung, der den vergrößerten Austrittsspiegel 25, die Kondensorlinse 12 und den Totalreflexionsspiegel 11 aufweist. Auf diese Weise ist es möglich, einen Laserstrahl 29 zu schaffen, der einen kompakten Querschnitt (nicht pfannkuchenförmig) aufweist, und die Intensität des Laserlichtes 28 zu reduzieren, die erforderlich ist, um das gleiche Konzentrationsvermögen wie bei der neunten Ausführungsform zur Verfügung zu stellen.

Gemäß der zehnten Ausführungsform ist es daher möglich, die infolge der Absorption des Laserlichtes 28 durch die Festkörperkomponente 300 erzeugte Heizmenge herabzusetzen und die Kompensation des Heizlinseneffektes durch den Bildübertragungsspiegel mit veränderlicher Krümmung selbst in einem Bereich hoher Energie zu erleichtern. Man kann daher den Heizlinseneffekt genau beseitigen und somit einen stabilen Laserstrahl 29 hoher Qualität erzeugen.

Ausführungsbeispiel 11

Es wird nunmehr Ausführungsbeispiel 11 in Verbindung mit Figur 29 erläutert. Fig. 29 ist eine Schnittansicht, die eine Festkörperlaservorrichtung gemäß der elften Ausführungsform zeigt. In Fig. 29 sind die Teile mit den Bezugszeichen 3 bis 8, 11 bis 13b, 17 und 25 bis 28 mit denen der Vorrichtung der zehnten Ausführungsform identisch. Mit 35 ist eine Stufe bezeichnet, die an einer Stelle an der Außenfläche des Teilreflexionsspiegels 17, der dem Teilreflexionsspiegel 26 entspricht, vorgesehen ist. Mit 36 ist ein Laserstrahl bezeichnet, der von der Laservorrichtung abgegeben wird.

Die Festkörperlaservorrichtung der elften Ausführungsform funktioniert grundsätzlich wie die Festkörperlaservorrichtung der vorstehend beschriebenen zehnten Ausführungsform, mit der nachfolgenden Ausnahme. Bei der elften Ausführungsform ist die Stufe 35 in der Außenfläche des Teilreflexionsspiegels 17 vorgesehen, um die Phasendifferenz zwischen einem Laserstrahl, der den Abschnitt 26 des Teilreflexionsspiegels durchdringt, und einem Laserstrahl, der den nicht reflektierenden Abschnitt 27 durchdringt, zu beseitigen. Es ist daher mit der elften Ausführungsform möglich, einen kompakten Laserstrahl 36 zu erzeugen, der eine gleichmäßige Phase besitzt, und das Konzentrationsverhalten zu verbessern (d. h. die Konzentration durch die Linse o. a. aufgrund des nicht divergierenden Laserstrahles 36 zu erleichtern).

Ausführungsbeispiel 12

Es wird nunmehr Ausführungsbeispiel 12 in Verbindung mit den Fig. 30 bis 32 erläutert. Fig. 30 ist eine Schnittansicht, die eine Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 12 zeigt. In Fig. 30 sind die Teile mit den Bezugszeichen 2 bis 8 und 11 bis 13b mit denen der Vorrichtung des Ausführungsbeispiels 8 iden-

tisch. Mit 40 ist eine piezoelektrische Vorrichtung, mit 41 eine Steuereinheit zum Steuern der Expansion und Kontraktion der piezoelektrischen Vorrichtung, mit 40, 42 das dem Resonator erzeugte Laserlicht und mit 43 ein von der Laservorrichtung abgegebener Laserstrahl bezeichnet.

Die Festkörperlaservorrichtung der zwölften Ausführungsform funktioniert grundsätzlich in der gleichen Weise wie die Festkörperlaservorrichtung der vorstehend beschriebenen achten Ausführungsform, mit der folgenden Ausnahme. Bei der zwölften Ausführungsform wird der Abstand zwischen dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 durch die Expansion und Kontraktion der piezoelektrischen Vorrichtung 40, die an der Rückseite des Totalreflexionsspiegels 11 montiert ist, in einer kurzen Zeitspanne über den beweglichen Objektisch 13a verändert, während die Energiezufuhr konstant gelassen wird (d. h. der Pumpzustand wird konstant gelassen). Durch die Änderung des Abstandes zwischen dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 wird der Bildübertragungszustand des Laserresonators der Ausführungsform 8 verändert. Folglich kann der Bildübertragungszustand geometrisch und optisch zwischen einem stabilen Zustand (d. h. einen Zustand des stabilen Resonators) und einem instabilen Zustand (d. h. einem Zustand des instabilen Resonators) umgeschaltet werden.

Fig. 31 zeigt die Beziehung zwischen dem Abstand zwischen dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 und der Laserausgangsleistung. Man kann beispielsweise erkennen, daß die Laserausgangsleistung rapide ansteigt, wenn der Bildübertragungszustand von $R = 2f = 100 \text{ mm}$ auf $R > 2f$ ($f > 100 \text{ mm}$) verändert wird, wenn die Brennweite f der Kondensorlinse 12 50 mm beträgt.

Wenn ein Resonatorzustand durch die piezoelektrische Vorrichtung 40 in einer kurzen Zeit (mit hoher Geschwindigkeit) wiederholt verändert wird, kann der Resonator in der kurzen Zeit zwischen dem stabilen Zustand, der zu einem reduzierten Verlust führt, und dem instabilen Zustand, der zu erhöhten Verlusten führt (d. h. der Resonatorverlust kann sich mit der Zeit ändern [zyklisch]), geometrisch und optisch fluktuieren. Daher steigt der Q-Wert des Resonators rasch an, so daß eine Schwingung mit scharfen Impulsen erzielt wird. Fig. 32 zeigt eine solche scharfe Impulsform, die in der vorstehend angegebenen Weise erhalten wird.

Ausführungsbeispiel 13

Es wird nunmehr Ausführungsbeispiel 13 in Verbindung mit den Fig. 33 bis 35 beschrieben. Fig. 33 ist eine Schnittansicht, die eine Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 13 zeigt. In Fig. 33 sind die mit den Bezugszeichen 2 bis 8 und 11 bis 13b sowie 40 versehenen Teile mit denen der Vorrichtung des Ausführungsbeispiels 12 identisch. In Fig. 33 ist mit 50 eine zweite Lichtquelle, mit 51 ein von der Lichtquelle 50 abgegebener Lichtstrahl, mit 52 ein Fotodetektor, beispielsweise ein CCD, mit 53 eine Steuereinheit zum Steuern der Expansion und Kontraktion der piezoelektrischen Vorrichtung 40 in Abhängigkeit von den Meßergebnissen des Fotodetektors, mit 54 das im Resonator erzeugte Laserlicht und mit 55 ein von der Laservorrichtung abgegebener Laserstrahl bezeichnet.

Fig. 34 ist eine Schnittansicht, die eine modifizierte Festkörperlaservorrichtung gemäß der dreizehnten Ausführungsform zeigt. In Fig. 34 sind die Teile mit den

Bezugszeichen 2 bis 8, 11 bis 13b, 40 und 50 bis 55 mit denen der Vorrichtung des Ausführungsbeispiels 33 identisch. Die Festkörperlaservorrichtung umfaßt ferner Spiegel 56a, 56b, die den Lichtstrahl 51 von der zweiten Lichtquelle total reflektieren, das Laserlicht 54 jedoch vollständig durchlassen.

Bei der in den Fig. 33 und 34 gezeigten Laservorrichtung kann der von der zweiten Lichtquelle 50 erzeugte Laserstrahl 51 die Festkörperkomponente 300, in der der Heizlinseneffekt auftritt, passieren. Der Fotodetektor 53 detektiert eine Änderung des Außendurchmessers des Lichtstrahles 51 infolge des Durchlaufens der Festkörperkomponente 3. In diesem Fall der Vorrichtung der Fig. 33 bewegt sich das Licht 51 diagonal relativ zum Laserlicht 54, so daß es direkt auf den Fotodetektor 52 fällt. Bei der Vorrichtung der Fig. 34 bewegt sich das Licht 51 im Laserlicht 54 parallel hierzu durch den Spiegel 56a und weicht danach vom Laserlicht 54 durch den Spiegel 56b ab, so daß es auf den Fotodetektor 52 trifft. In der Steuereinheit 53 kann das Ausmaß des Heizlinseneffektes der Festkörperkomponente 3 in Abhängigkeit von dem detektierten Wert (der den Grad der Änderung des Außendurchmessers des Lichtstrahles 51 darstellt) errechnet werden, und die piezoelektrische Vorrichtung 40 wird in Abhängigkeit von dem errechneten Wert angetrieben, um den Abstand zwischen dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 einzustellen. Daher ist es gemäß dieser Ausführungsform möglich, den Heizlinseneffekt der Festkörperkomponente 3 zu beseitigen, während man Schwankungen des Heizlinseneffektes über eine kurze Zeit folgt, und einen konstanten Divergenzwinkel aufrechtzuerhalten.

Fig. 35 zeigt die Änderungen des Divergenzwinkels des Laserstrahles 55 der in den Fig. 33 und 34 gezeigten Laservorrichtung in Abhängigkeit von der nach Beendigung der Bereitstellung der Energiequelle 5 abgelaufenen Zeit im Vergleich zu der Änderung des Divergenzwinkels bei einem Vergleichsbeispiel, bei dem der Heizlinseneffekt nicht kompensiert ist. Obwohl sich der Divergenzwinkel des Laserstrahles ändert, bis der Heizlinseneffekt der Festkörperkomponente des Vergleichsbeispiels stabilisiert ist, wird bei der dreizehnten Ausführungsform der Divergenzwinkel gleichzeitig mit der Bereitstellung der Energiequelle stabilisiert.

Obwohl bei jeder dieser Ausführungsformen der Laserstrahl abgeleitet wird, indem die optischen Spiegel 2 und 17 getrennt vom optischen Bildübertragungssystem vorgesehen sind, kann ein reflektierender Abschnitt für einen Teil des das optische Bildübertragungssystem bildenden Spiegels vorgesehen sein, um den Laserstrahl extern vom reflektierenden Abschnitt abzuleiten.

Obwohl keine spezielle Beschreibung hierauf gerichtet wurde, kann ferner ein nicht reflektierender Film in einer Position der entsprechenden optischen Komponenten, die vom Laserstrahl durchdrungen werden, angeordnet werden, wie bei den typischen optischen Komponenten, obwohl diese Position nicht speziell beschrieben ist. Durch den nicht reflektierenden Film werden Verluste im Resonator reduziert, und es wird eine wirkungsvolle Laseroszillation ermöglicht.

Ausführungsbeispiel 14

Fig. 36 ist eine Schnittansicht, die eine Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 14 der Erfindung zeigt. In Fig. 36 sind die Teile mit den Bezugszeichen 2 bis 8 und 11 bis 15 mit denen der Vorrichtung der Fig. 22 identisch. Mit 60 ist ein Gehäuse zur Aufnah-

me des Totalreflexionsspiegels 11 bezeichnet, während mit 61 ein im Gehäuse 60 vorgesehenes Luftloch bezeichnet ist. In Fig. 36 gibt die gestrichelte Linie L die tatsächliche Anordnung eines Spiegels mit veränderlicher Krümmung wieder, der zu einem Bildübertragungssystem äquivalent ist, das den Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 aufweist.

Bei der Festkörperlaservorrichtung ist ein Konzentrationspunkt des Laserlichtes in einer mittleren Position zwischen dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 angeordnet. Das Gehäuse 60 verhindert, daß Staub o. ä. in der Atmosphäre zum Konzentrationspunkt gelangt. Daher ist es möglich, eine Qualitätsverschlechterung des im Bereich des Staubes hindurchtretenden Laserlichtes 14 infolge des vom Laserlicht erhitzten Staubes zu verhindern.

Wenn das Gehäuse 60 durch Anschließen einer Vakuumpumpe an das Luftloch 61 evakuiert wird, ist es möglich, das Staubproblem noch leichter zu beseitigen und eine Qualitätsverschlechterung des Laserstrahles durch eine Plasmaerzeugung infolge einer erhöhten Intensität des Konzentrationspunktes oder eine Absorption des Laserlichtes infolge der Feuchtigkeit in der Luft zu vermeiden. Es ist auch möglich, eine Plasmabildung in der Nähe des Konzentrationspunktes zu vermeiden, indem ein inaktives Gas vom Luftloch 61 in das Gehäuse 60 geblasen wird.

Ferner kann der Totalreflexionsspiegel 11 vom beweglichen Objektisch 13a entfernt und auf einer Wand des Gehäuses 60 montiert werden. Andererseits kann die Höhe des Unterdrucks durch das Luftloch 61 verändert werden, und das Gehäuse 60 kann durch Variation des Drucks des in das Gehäuse 60 geblasenen Gases verformt werden. Es ist auf diese Weise möglich, die Krümmung des Spiegels mit veränderlicher Krümmung in äquivalenter Weise zu verändern, indem man den Abstand zwischen dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 ohne den beweglichen Objektisch 13a verändert. Es ist auch möglich, die Änderung der äquivalenten Krümmung des Spiegels mit veränderlicher Krümmung zu erzielen, indem man eine Heizeinrichtung in Kontakt mit dem Gehäuse 60 anordnet und durch Erhitzen der Heizeinrichtung die Temperatur im Gehäuse 60 verändert.

Ausführungsbeispiel 15

Fig. 37 zeigt eine Schnittansicht einer Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 15 der vorliegenden Erfindung. In Fig. 37 sind die Teile, die mit den Bezugszeichen 2 bis 8, 11 bis 15, 60, 61 bezeichnet sind, mit denen der Vorrichtung der Fig. 36 identisch. Mit 63 ist ein Wellenlängenumformer bezeichnet, der aus einem KTP (Kaliumtitanylphosphat)-Kristall o. ä. besteht.

Bei dieser Festkörperlaservorrichtung ist der Wellenlängenumformer 63 so angeordnet, daß er die Wellenlänge des Laserlichtes 14 umformt und einen Laserstrahl 15 mit kürzerer Wellenlänge erzeugt, der ein gutes Konzentrationsvermögen besitzt. Insbesondere ist der Wellenlängenumformer 63 an einem Konzentrationspunkt angeordnet, der sich in dem Zwischenraum zwischen dem Totalreflexionsspiegel 11 und der Kondensorlinse 12 befindet. Es ist daher möglich, in wirksamer Weise die Wellenlänge umzuformen, indem man vom Laserlicht 14 Gebrauch macht, das am Konzentrationspunkt eine erhöhte Intensität besitzt.

Darüber hinaus ist der Wellenlängenumformer 63 im

Gehäuse 60 untergebracht, so daß kein Staub o.a. an einer Fläche des Wellenlängenumformers 63 haftet. Es ist daher möglich, die Wellenlänge für eine lange Zeitdauer auf beständige Weise umzuformen.

Ausführungsbeispiel 16

Fig. 38 ist eine Schnittansicht, die eine Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 16 der vorliegenden Erfindung zeigt. In Fig. 38 sind die Teile mit den Bezugszeichen 2 bis 8, 11 bis 15, 60, 61 mit denen der Vorrichtung in Fig. 36 identisch. Andere Teile, die mit den Bezugszeichen 16, 17 versehen sind, sind mit denen der Vorrichtung der Fig. 26 identisch.

Bei dieser Festkörperlaservorrichtung ist der gleiche instabile Laserresonator vorgesehen wie bei der Ausführungsform in Fig. 26, so daß ein pfannkuchenförmiger Laserstrahl 15 erzeugt wird. Aufgrund des Gehäuses 60 ist es ferner möglich, das Anhaften von Staub am Bildübertragungssystem zu verhindern, so daß die Vorrichtung über eine lange Zeitdauer betätigt werden kann, ohne den Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 reinigen zu müssen.

Ausführungsbeispiel 17

Fig. 39 ist eine Schnittansicht einer Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 17 der vorliegenden Erfindung. In Fig. 39 sind die Teile mit den Bezugszeichen 2 bis 8, 11 bis 15, 60, 61 mit denen der Vorrichtung der Fig. 36 identisch. Andere Teile, die mit den Bezugszeichen 17 und 25 bis 27 versehen sind, sind mit denen der Vorrichtung der Fig. 28 identisch.

Diese Festkörperlaservorrichtung besitzt den gleichen instabilen Laserresonator wie die Ausführungsform der Fig. 28, so daß ein kompakter Laserstrahl 15 zur Verfügung gestellt wird. Des weiteren ist es möglich, das Anhaften von Staub am Bildübertragungssystem durch das Gehäuse 60 zu verhindern und die Vorrichtung über eine lange Zeitdauer zu betreiben, ohne den Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 reinigen zu müssen.

Ausführungsbeispiel 18

Fig. 40 ist eine Schnittansicht, die eine Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 18 der vorliegenden Erfindung zeigt. In Fig. 40 sind die Teile, die mit dem Bezugszeichen 2 bis 8, 11 bis 15, 60, 61 versehen sind, mit denen der Vorrichtung der Fig. 36 identisch. Andere Teile, die die Bezugszeichen 17, 25 bis 27, 35 und 36 aufweisen, sind mit denen der Vorrichtung der Fig. 29 identisch.

Diese Festkörperlaservorrichtung weist den gleichen instabilen Laserresonator wie die Ausführungsform der Fig. 29 auf, so daß ein massiver Laserstrahl 36 mit keiner Phasendifferenz zur Verfügung gestellt wird. Des weiteren ist es möglich, das Anhaften von Staub am Bildübertragungssystem durch das Gehäuse 60 zu verhindern und die Vorrichtung über eine lange Zeitdauer zu betreiben, ohne den Totalreflexionsspiegel 11 und die Kondensorlinse 12 reinigen zu müssen.

Ausführungsbeispiel 19

Bei dem in den Fig. 41a und 41b gezeigten Ausführungsbeispiel 19 trifft ein von einer Festkörperlaservorrichtung erzeugter Laserstrahl auf ein Ende einer opti-

schen Faser 300 und wird an eine entfernt angeordnete Stelle überführt. Der Laserstrahl wird des weiteren vom gegenüberliegenden Ende der optischen Faser 300 abgegeben und durch die Kondensorlinse 12 konzentriert. Der konzentrierte Laserstrahl wird zur Durchführung einer Laserbearbeitung eines Werkstücks 800 verwendet. In den Fig. 41a und 41b ist mit 820 der Einlaß für ein Prozeßgas und mit 810 eine Behandlungsdüse bezeichnet.

Da bei der neunzehnten Ausführungsform die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente die Aberration in einem Schnitt der Festkörperkomponente verringert, kann der von der Festkörperlaservorrichtung der neunzehnten Ausführungsform erzeugte Laserstrahl zu einem kleinen Punkt konzentriert werden.

Der zu dem kleinen Punkt konzentrierte Laserstrahl kann in wirksamer Weise auf das Ende der optischen Faser 300 treffen und kann vom gegenüberliegenden Ende der Faser 300 ohne Verlust an Laserenergie abgegeben werden, so daß eine wirksame Laserbearbeitung des Werkstücks 800 mit hoher Qualität möglich ist.

Obwohl die neunzehnte Ausführungsform in Verbindung mit der Festkörperlaservorrichtung beschrieben wurde, bei der der im ersten Ausführungsbeispiel erläuterte Laserresonator Verwendung findet, ist es auch möglich, den gleichen Effekt mit irgendeiner Festkörperlaservorrichtung der Ausführungsformen 2, 3 und 4 zu erzielen.

Ausführungsbeispiel 20

Bei dem in den Fig. 42a und 42b gezeigten Ausführungsbeispiel wird ein von einer Festkörperlaservorrichtung erzeugter Laserstrahl durch die Atmosphäre zu einem entfernten Ort überführt und durch die Kondensorlinse 12 konzentriert, nachdem die Richtung des Laserstrahles durch den Totalreflexionsspiegel 11 geändert wurde. Des weiteren wird der konzentrierte Laserstrahl zur Durchführung einer Laserbearbeitung eines Werkstücks 800 verwendet.

Da bei dieser zwanzigsten Ausführungsform die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente die Aberration in einem Schnitt der Festkörperkomponente reduziert, kann der von der Festkörperlaservorrichtung dieser Ausführungsform erzeugte Laserstrahl zu einem kleinen Punkt konzentriert werden. Der konzentrierte Laserstrahl ermöglicht eine wirksame Laserbearbeitung des Werkstücks 800 mit hoher Qualität.

Obwohl diese Ausführungsform in Verbindung mit der Festkörperlaservorrichtung beschrieben wurde, bei der der im ersten Ausführungsbeispiel erläuterte Laserresonator Verwendung findet, ist es auch möglich, den gleichen Effekt mit irgendeiner der Festkörperlaservorrichtungen der Ausführungsformen 2, 3 und 4 zu erzielen.

Ausführungsbeispiel 21

Bei der in den Fig. 43a und 43b gezeigten Ausführungsformen 21 wird der beispielsweise von der Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 20 erzeugte Laserstrahl durch die Atmosphäre an einen entfernten Ort überführt und durch die Kondensorlinse 12 konzentriert, nachdem die Richtung des Laserstrahles vom Totalreflexionsspiegel 11 verändert wurde. Danach wird der konzentrierte Laserstrahl durch eine zweite Kondensorlinse 12 weiter konzentriert, und der konzentrierte Laserstrahl wird zur Durchführung einer

guten Laserbearbeitung eines Werkstücks 800 verwendet.

Da bei dieser Ausführungsform durch die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente die Aberration in einem Schnitt der Festkörperkomponente reduziert wird, kann der von der Festkörperlaservorrichtung dieser Ausführungsform erzeugte Laserstrahl zu einem kleinen Punkt konzentriert werden. Durch die Konzentration des Laserstrahles zu einem kleinen Punkt kann die Laserbearbeitung des Werkstücks 800 durchgeführt werden.

Es erfolgt nunmehr eine zusätzliche Beschreibung einer Ausführungsform, bei der eine Vielzahl von Linsen Verwendung findet, die für diese Ausführungsform charakteristisch sind.

Beispielsweise kollidiert der von der Festkörperlaservorrichtung der Ausführungsformen 1 bis 18 erzeugte Laserstrahl mit dem Ende der Festkörperkomponente, einem Laserspiegel o. ä., der in einem Laserresonator angeordnet ist, was zur Erzeugung einer gebrochenen Welle führt.

Wenn die Beugungswelle konzentriert wird, besitzt sie eine Intensitätsverteilung an einem Umfangsabschnitt des Laserstrahles und dient als peripherer Strahl, wie in Fig. 44a gezeigt ist, wenn der Laserstrahl konzentriert wird.

Wenn der Laserstrahl zur Laserbearbeitung verwendet wird, besteht das Problem, daß wegen der nachfolgend angegebenen Gründe keine wirksame Laserbearbeitung mit hoher Qualität durchgeführt werden kann. Beim Schneiden ist es unmöglich, aufgrund des peripheren Strahles eine scharfe Schneidebene zu erreichen. Beim Penetrieren wird in Umfangsrichtung an einem Bearbeitungsabschnitt unnötige Wärme erzeugt.

Um bei der einundzwanzigsten Ausführungsform dieses Problem zu beseitigen, findet eine Vielzahl von Linsen Verwendung, um die Bildübertragung eines Laserstrahles auf ein Werkstück durchzuführen. Der Laserstrahl ist in der Nachbarschaft einer Stelle, von der aus die Beugungswelle erzeugt wird, und in der Nachbarschaft einer Laservorrichtung angeordnet.

Wie vorstehend ausgeführt, wird die Beugungswelle in erster Linie am Ende der Festkörperkomponente oder am Ende des Spiegels in der Laservorrichtung erzeugt. Es ist daher möglich, einen konzentrierten Laserstrahl zu schaffen, der keine Auswirkung auf die Beugungswelle aufweist, wenn das optische System so eingestellt ist, daß es die Bildübertragung des Laserstrahles in der Nachbarschaft dieser Stellen auf dem Werkstück 800 durchführt.

In Fig. 43 ist eine Ausführungsform mit zwei Linsen 12 dargestellt. Es ist möglich, den Laserstrahl auf jede beliebige Stelle in der Laservorrichtung durch Einstellen der Brennweiten der Linsen zu übertragen. Dies kann man mit einem konzentrierten Laserstrahl mit keinem peripheren Strahl durchführen, wie beispielsweise in Fig. 44b gezeigt.

Obwohl die Ausführungsform, bei der zwei Linsen Verwendung finden, in Verbindung mit Ausführungsbeispiel 21 beschrieben wurde, können auch Reflexionspiegel kombiniert werden. Kurz gesagt, das optische System kann kombiniert werden, damit eine Bildübertragung des in der Nachbarschaft des Innenraumes der Laservorrichtung erzeugten Laserstrahles möglich ist und kein peripherer Strahl erzeugt wird.

In Fig. 45a ist eine weitere Ausführungsform dargestellt, die eine Blende 50 aus einem metallischen, keramischen oder Glaszylinder oder einer optischen Faser auf-

weist. Die Blende 50 ist an der optischen Bahn angeordnet, so daß eine Bildübertragung des Laserstrahles durchgeführt wird, bei der der periphere Strahl des Laserstrahles abgeschnitten wird.

Diese Ausführungsform ist besonders wirksam für einen Fall, bei dem eine der Festkörperlaservorrichtungen der Ausführungsbeispiele 2, 3 und 4 verwendet wird, da hierbei das Ende des Spiegels im Laserresonator angeordnet ist.

Ausführungsbeispiel 22

Bei dem in den Fig. 46a und 46b gezeigten Ausführungsbeispiel 22 wird der beispielsweise von der Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 20 erzeugte Laserstrahl durch die Atmosphäre an einen entfernten Ort überführt und von der Kondensorlinse 12 konzentriert, nachdem die Richtung des Laserstrahles vom Totalreflexionsspiegel 11 verändert wurde. Danach wird der konzentrierte Laserstrahl durch eine zweite Kondensorlinse 12 weiter konzentriert, nachdem er die Blende 50 passiert hat, so daß der konzentrierte Laserstrahl zur Durchführung der Laserbearbeitung eines Werkstücks 800 eingesetzt werden kann.

Da bei der zweiundzwanzigsten Ausführungsform die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente reduziert, kann der von der Festkörperlaservorrichtung dieser Ausführungsform erzeugte Laserstrahl zu einem kleinen Punkt konzentriert werden. Der zu dem kleinen Punkt konzentrierte Laserstrahl ermöglicht eine gute Laserbearbeitung des Werkstücks 800.

Es erfolgt nunmehr eine zusätzliche Beschreibung der Blende 50, die für diese Ausführungsform charakteristisch ist.

Beispielsweise kollidiert der von der Festkörperlaservorrichtung der Ausführungsformen 1 bis 18 erzeugte Laserstrahl mit einem Ende der Festkörperkomponente, einem Laserspiegel o. ä., der in einem Laserresonator angeordnet ist, was zur Erzeugung einer Beugungswelle führt.

Wenn die Beugungswelle konzentriert wird, besitzt sie eine Intensitätsverteilung an einem Umfangsabschnitt des Laserstrahles und dient als peripherer Strahl, wie in Fig. 44a gezeigt, wenn der Laserstrahl konzentriert wird.

Wenn der Laserstrahl für die Laserbearbeitung eingesetzt wird, besteht das Problem, daß keine wirksame Laserbearbeitung mit hoher Qualität durchgeführt werden kann, was auf die nachfolgend angegebenen Gründe zurückzuführen ist. Bei der Schneidbearbeitung ist es unmöglich, infolge des peripheren Strahles eine scharfe Schneidebene vorzusehen. Bei der Penetrationsbearbeitung wird am Bearbeitungsabschnitt in Umfangsrichtung überflüssige Wärme erzeugt.

Bei der zweiundzwanzigsten Ausführungsform dringt der Laserstrahl durch die Blende und wird nicht auf der optischen Bahn konzentriert. Somit kann die Beugungswelle durch die Blende abgetrennt werden, und die Laserbearbeitung durch den Laserstrahl kann ohne die Beugungswelle durchgeführt werden.

Diese zweiundzwanzigste Ausführungsform ist besonders wirksam bei der Festkörperlaservorrichtung der Ausführungsbeispiele 2, 3 und 4, da hierbei das Ende des Spiegels in einem Laserresonator angeordnet ist.

Bei dem in den Fig. 47a und 47b gezeigten Ausführungsbeispiel 23 wird der beispielsweise von der Festkörperlaservorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel 20 erzeugte Laserstrahl durch die Atmosphäre an einen entfernten Ort überführt und durch die Kondensorlinse 12 konzentriert, nachdem die Richtung des Laserstrahles durch den Totalreflexionsspiegel 11 verändert wurde. Danach wird der konzentrierte Laserstrahl durch eine zweite Kondensorlinse 12 weiter konzentriert, nachdem er einen übersättigten Absorber 3000 passiert hat. Der konzentrierte Laserstrahl wird zur Durchführung einer Laserbearbeitung eines Werkstücks 800 verwendet.

Da bei dieser dreiundzwanzigsten Ausführungsform die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente die Aberration in einem Schnitt der Festkörperkomponente reduziert, kann der von der Festkörperlaservorrichtung der dreiundzwanzigsten Ausführungsform erzeugte Laserstrahl zu einem kleinen Punkt konzentriert werden. Der zu dem kleinen Punkt konzentrierte Laserstrahl ermöglicht eine gute Laserbearbeitung des Werkstücks 800.

Es folgt nunmehr eine zusätzliche Beschreibung des übersättigten Absorbers 3000, der für diese dreiundzwanzigste Ausführungsform charakteristisch ist.

Beispielsweise kollidiert der von der Festkörperlaservorrichtung der Ausführungsbeispiele 1 bis 18 erzeugte Laserstrahl mit einem Ende der Festkörperkomponente, einem Laserspiegel o. ä., der in einem Laserresonator angeordnet ist, was zur Erzeugung einer Beugungswelle führt.

Wenn die Beugungswelle konzentriert wird, besitzt sie eine Intensitätsverteilung auf einem Umfangsabschnitt des Laserstrahles und wirkt als peripherer Strahl, wie in Fig. 44a gezeigt, falls der Laserstrahl konzentriert wird.

Wenn der Laserstrahl für die Laserbearbeitung verwendet wird, besteht das Problem, daß keine wirksame Laserbearbeitung mit hoher Qualität durchgeführt werden kann, was auf die nachfolgenden Gründe zurückzuführen ist. Bei der Schneidbearbeitung ist es unmöglich, infolge des peripheren Strahles eine scharfe Schneidebene zu erzielen. Bei der Penetrationsbearbeitung wird am Bearbeitungsabschnitt in Umfangsrichtung überflüssige Wärme erzeugt.

Die dreiundzwanzigste Ausführungsform wird mit Hilfe eines YAG-Laserstrahles als Beispiel erläutert. Dieser Laserstrahl dringt durch den übersättigten Absorber 3000, der aus Cr^{4+} : YAG, LiF : F_2^- o. ä. besteht, wenn der Laserstrahl auf der optischen Bahn konzentriert wird. Der übersättigte Absorber dient typischerweise als Reflektor, kann jedoch auch durchlässig sein, indem er einen starken Laserstrahl absorbiert, wenn dieser starke Laserstrahl auf den übersättigten Absorber trifft.

Somit kann bei dem in Fig. 44a gezeigten Laserstrahl nur ein zentraler Abschnitt mit großer Intensität hindurchdringen, so daß ein peripherer Abschnitt, der als Komponente der Beugungswelle wirkt, eliminiert wird.

Diese Ausführungsform ist besonders wirksam für den Fall, wenn eine der Festkörperlaservorrichtungen der Ausführungsbeispiele 2, 3 und 4 verwendet wird, weil das Ende des Spiegels in einem Laserresonator angeordnet ist.

Der Laserstrahl kann durch eine der Laserbearbeitungsvorrichtungen der Ausführungsbeispiele 19 bis 23

gestoppt und in das Ende der optischen Faser des Ausführungsbeispiels 19 eingeführt werden. Es ist somit möglich, den Laserstrahl in wirksamer Weise in eine Faser einzuführen und somit sicher an den entfernten Ort zu überführen.

Bei jeder Ausführungsform wurde die Festkörperkomponente in Verbindung mit einer solchen beschrieben, die einen kreisförmigen Querschnitt besitzt. Der Querschnitt der Festkörperkomponente ist jedoch nicht auf einen derartigen kreisförmigen Querschnitt beschränkt. Es können vielmehr auch Rechteckquerschnitte oder elliptische Querschnitte Verwendung finden.

Obwohl bei jeder Ausführungsform keine spezielle Beschreibung erfolgt ist, kann ein nicht reflektierender Film in einer Position der entsprechenden optischen Komponenten angeordnet werden, die der Laserstrahl durchläuft, wie dies bei den typischen optischen Komponenten der Fall ist, obwohl diese Position nicht speziell beschrieben wurde. Durch den nicht reflektierenden Film werden Verluste im Resonator reduziert, und es wird eine wirksame Laseroszillation ermöglicht.

Mit der vorstehend beschriebenen Festkörperlaservorrichtung und Laserbearbeitungsvorrichtung der vorliegenden Erfindung werden die nachfolgend erläuterten Vorteile erreicht.

Bei der erfindungsgemäß ausgebildeten Festkörperlaservorrichtung wird die Festkörperkomponente durch Flüssigkeit peripher gekühlt, und die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente, die einen größeren Brechungsindex als die Flüssigkeit besitzt, wird eingestellt, um die Erregungsverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente einzustellen. Es ist somit möglich, ein Lasermedium zu schaffen, mit dem eine im wesentlichen gleichmäßige Emission im Schnitt ohne Wellenfrontaberration möglich ist. Des weiteren ist es möglich, unter Verwendung des Laserresonators auf beständige Weise einen Laserstrahl hoher Energie und hoher Qualität vorzusehen.

Bei der Festkörperlaservorrichtung wird die Festkörperkomponente peripher durch eine Flüssigkeit gekühlt, und die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente, die einen größeren Brechungsindex als die Flüssigkeit aufweist, wird auf $130 \mu''$ RMS oder mehr eingestellt. Es ist somit möglich, ein Lasermedium vorzusehen, mit dem eine im wesentlichen gleichmäßige Emission ohne Aberration im Schnitt möglich ist. Des weiteren ist es möglich, durch Verwendung des Laserresonators einen Laserstrahl mit hoher Energie und hoher Qualität zu erzeugen.

Bei der Festkörperlaservorrichtung findet ein Lichterregungssystem mit einem Kondensor Verwendung, um das Licht der Lichtquelle zu begrenzen und in die Festkörperkomponente einzuführen. Das dabei auf der Oberfläche der Festkörperkomponente gestreute Licht wird vom Kondensor wieder reflektiert und in die Festkörperkomponente eingeführt, nachdem die Hin- und Herbewegung eine Vielzahl von Malen im Kondensor wiederholt wurde. Es gibt daher keine Reduzierung des Übertragungsvermögens des Lichtes der Lichtquelle auf die Festkörperkomponente durch die Oberflächenrauigkeit derselben. Somit ist es möglich, eine Erniedrigung des Laserwirkungsgrades zu verhindern.

Bei der Festkörperlaservorrichtung findet ein Lichterregungssystem einschließlich eines Kondensors Verwendung, mit dem das von der Lichtquelle abgegebene Licht begrenzt wird und das eine diffuse Reflexionsfläche an einem Innenabschnitt aufweist, um das Licht der Lichtquelle in die Festkörperkomponente einzuführen.

Somit wird das auf der Oberfläche der Festkörperkomponente gestreute Licht wieder vom Kondensor diffus reflektiert. Der Laserstrahl wird daher in zuverlässiger Weise bei jeder Reflexion teilweise in die Festkörperkomponente eingeführt, und durch die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente wird keine Reduzierung des Übertragungsvermögens des Lichtes der Lichtquelle auf die Festkörperkomponente bewirkt. Somit ist es möglich, ein Absinken des Laserwirkungsgrades zu verhindern.

Darüber hinaus kann die diffuse Reflexionsfläche das Licht der Lichtquelle im Kondensor so ausgleichen, daß die Festkörperkomponente mit gleichmäßigem Licht peripher angestrahlt wird. Es ist daher möglich, ein Lasermedium zu erzeugen, das im Schnitt in Umfangsrichtung einheitlich ist, und unter Verwendung des Laserresonators auf beständige Weise einen Laserstrahl mit hoher Energie und hoher Qualität zur Verfügung zu stellen.

Eine Vielzahl von Festkörperkomponenten mit rauher Oberfläche wird in Richtung der optischen Achse angeordnet, um einen verlängerten Erregungsabschnitt vorzusehen. Auf diese Weise ist es möglich, die Länge des Lasermediums ohne Auswahl der Festkörperkomponenten auszuweiten und mit niedrigen Kosten einen Laserstrahl hoher Energie vorzusehen.

Bei der Festkörperlaservorrichtung kann ein optisches Heizlinsenkorrektursystem zwischen die entsprechenden Festkörperkomponenten eingesetzt werden. Hiermit ist es möglich, auf beständige Weise einen Laserstrahl hoher Energie ohne jegliche Beeinflussung der Festkörperkomponente durch die Heizlinse zu erzeugen.

Bei der Festkörperlaservorrichtung wird von der Festkörperkomponente mit rauher Oberfläche unter Verwendung eines stabilen Resonators eine entsprechende Laserausgangsenergie abgeleitet. Es ist dabei möglich, einen Laserstrahl zu erzeugen, der in der Festkörperkomponente eine im wesentlichen gleichmäßige Intensitätsverteilung besitzt. Durch die Laserenergie kann die Festkörperkomponente ohne Störung der Gleichmäßigkeit über den Schnitt gleichmäßig erhitzt werden, selbst dann, wenn die Laserenergie ansteigt und partiell von der Festkörperkomponente absorbiert wird, so daß diese erhitzt wird. Auf diese Weise ist es möglich, auf beständige Weise einen Laserstrahl hoher Energie zu erzeugen.

Bei der Festkörperlaservorrichtung wird der Laserstrahl von der eine raue Oberfläche aufweisenden Festkörperkomponente ebenfalls unter Verwendung eines instabilen Resonators abgeleitet. Damit ist es möglich, einen Laserstrahl mit gleichmäßigerer Intensitätsverteilung zu erzeugen als mit dem stabilen Resonator in der Festkörperkomponente. Hierbei kann die Festkörperkomponente durch die Laserenergie ohne Störungen der Gleichförmigkeit über den Schnitt gleichmäßig erhitzt werden, selbst dann, wenn die Laserenergie ansteigt und von der Festkörperkomponente teilweise absorbiert wird, so daß die Festkörperkomponente erhitzt wird. Auf diese Weise ist es möglich, auf beständige Art einen Laserstrahl hoher Energie zu erzeugen.

Bei der Festkörperlaservorrichtung wird der Laserstrahl von der mit der rauhen Oberfläche versehenen Festkörperkomponente abgeleitet, indem ein Laserresonator verwendet wird, der einen Austrittsspiegel besitzt, welcher einen partiell reflektierenden Abschnitt am mittleren Abschnitt und einen nicht reflektierenden Abschnitt an seinem Umfangsabschnitt aufweist, und

der einen einzigen Totalreflexionsspiegel oder optisches Heizlinsenkorrektursystem besitzt. Es ist damit möglich, in der Festkörperkomponente einen Laserstrahl zu erzeugen, der eine gleichmäßigere Intensitätsverteilung aufweist als bei dem stabilen Resonator, und einen Laserstrahl zu erzeugen, dessen Konzentrationsvermögen größer ist als das bei dem instabilen Resonator.

Die Festkörperkomponente kann somit durch die Laserenergie ohne Störungen der Gleichmäßigkeit im Querschnitt selbst bei ansteigender Laserenergie gleichmäßig erhitzt werden, wobei die Laserenergie teilweise von der Festkörperkomponente absorbiert wird. Es ist somit möglich, auf beständige Weise einen Laserstrahl hoher Energie zu erzeugen.

Bei der Festkörperlaservorrichtung wird der Laserstrahl ferner von der mit der rauhen Oberfläche versehenen Festkörperkomponente abgeleitet, indem ein Laserresonator verwendet wird, der einen Austrittsspiegel mit partiell reflektierendem Abschnitt am mittleren Abschnitt und nicht reflektierendem Abschnitt am Umfangsabschnitt und Einrichtungen zum Kompensieren der Phasendifferenz des den partiell reflektierenden Abschnitt und den nicht reflektierenden Abschnitt durchdringenden Laserstrahles sowie einen einzigen Totalreflexionsspiegel oder ein optisches System zur Heizlinsenkorrektur aufweist. Damit ist es möglich, in der Festkörperkomponente einen Laserstrahl zu erzeugen, der eine gleichmäßigere Intensitätsverteilung aufweist als bei dem stabilen Resonator, sowie einen Laserstrahl zu erzeugen, dessen Konzentrationsvermögen größer ist als bei dem instabilen Resonator.

Somit kann die Festkörperkomponente ohne Störungen der Gleichmäßigkeit im Schnitt durch die Laserenergie gleichmäßig erhitzt werden, und zwar selbst dann, wenn die Laserenergie ansteigt und teilweise von der Festkörperkomponente absorbiert wird, so daß diese erhitzt wird. Es ist damit möglich, auf beständige bzw. stabile Weise einen Laserstrahl hoher Energie zu erzeugen.

Bei der Festkörperlaservorrichtung wird der Laserstrahl, der von einer getrennten Festkörperlaservorrichtung erzeugt wurde, in die Festkörperkomponente eingeführt, die die raue Oberfläche aufweist, um auf diese Weise einen verstärkten Laserstrahl extern zu erzeugen. Dabei ist es möglich, den Laserstrahl ohne die Aberration zu verstärken, und in einfacher Weise einen Laserstrahl hoher Qualität und hoher Energie vorzusehen.

Des weiteren kann der Laserresonator verwendet werden, um die Laserenergie von der mit der rauhen Oberfläche versehenen Festkörperkomponente abzuleiten. In diesem Fall wird das optische System zur Heizlinsenkorrektur, das die Vielzahl der optischen Komponenten aufweist, als ein optisches Lasersystem verwendet, das den Resonator bildet, um mindestens einen der Abstände zwischen den optischen Komponenten zu steuern und in Abhängigkeit von der Abgabeleistung der Lichtquelle entsprechend zu verändern. Selbst wenn daher durch eine Änderung der Abgabeleistung der Lichtquelle die Heizlinse der Festkörperkomponente verändert wird, ist es möglich, diese Änderung durch Änderung von mindestens einem der Abstände zwischen den optischen Komponenten zu beseitigen. Folglich ist es möglich, einen Laserstrahl mit stabiler Strahlqualität zu erzeugen, und zwar unabhängig von der Abgabeleistung der Lichtquelle oder von der erzeugten Laserenergie.

Des weiteren kann der Laserresonator dazu verwen-

det werden, um die Laserenergie von der mit der rauhen Oberfläche versehenen Festkörperkomponente abzuleiten, wobei ein optisches Bildübertragungssystem vom Reflexions- oder Transmissionstyp als ein optisches System zur Heizlinsenkorrektur, das den Resonator bildet, verwendet wird. Selbst wenn daher durch eine Änderung der Abgabeleistung der Lichtquelle die Heizlinse der Festkörperkomponente verändert wird, ist es möglich, diese Änderung zu beseitigen, indem mindestens einer der Abstände zwischen den optischen Komponenten nur über eine geringe Distanz verändert wird. Folglich ist es möglich, unabhängig von der Abgabeleistung der Lichtquelle oder der erzeugten Laserenergie eine Steuerung mit hoher Geschwindigkeit durchzuführen und einen Laserstrahl mit stabiler Strahlqualität zu erzeugen.

Der Halbleiterlaser wird als Lichtquelle verwendet. Daher ist es möglich, die Größe des in der Festkörperkomponente erzeugten Heizlinseneffektes zu reduzieren und auf diese Weise die Heizlinsenverteilung zu reduzieren und die Wellenlänge des Halbleiterlasers so einzustellen, daß eine gleichmäßige Intensitätsverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente, d. h. eine gleichmäßige Heizlinsenverteilung, erreicht wird. Es ist ferner möglich, auf diese Weise ein gleichmäßiges Lasermedium zur Verfügung zu stellen, so daß ein Laserstrahl mit hoher Qualität erzeugt wird.

Bei der Festkörperlaservorrichtung bilden der Totalreflexionsspiegel und die Kondensorlinse das Bildübertragungssystem im Laserresonator und werden in Richtung der optischen Achse des Laserresonators bewegt. Es ist daher möglich, den Weg des Laserlichtes im Laserresonator einzustellen und einen breiten Querschnittsbereich des Laserlichtes aufrechtzuerhalten, um die Fokussierung des Laserstrahles infolge des Heizlinseneffektes der Festkörperkomponente zu beseitigen. Auf diese Weise kann eine Festkörperlaservorrichtung geschaffen werden, die eine stabile Schwingung eines Strahles mit gutem Konzentrationsvermögen ermöglicht.

Bei dem stabilen Laserresonator, der eine Kombination aus dem optischen Bildübertragungssystem einschließlich einer Kombination des Totalreflexionsspiegels und der Kondensorlinse mit einem partiell reflektierenden Spiegel aufweist, werden der Totalreflexionsspiegel und die Kondensorlinse, die das Bildübertragungssystem bilden, durch die Bewegungseinrichtungen in Richtung der optischen Achse des Laserresonators bewegt. Es ist daher möglich, den Weg des Laserlichtes im Resonator einzustellen und einen breiten Querschnittsbereich des Laserlichtes aufrechtzuerhalten, während eine glockenblumenförmige Intensitätsverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente aufrechterhalten wird, um die Fokussierung des Laserstrahles infolge des Heizlinseneffektes der Festkörperkomponente zu beseitigen.

Bei dem instabilen Laserresonator, der eine Kombination aus dem optischen Bildübertragungssystem einschließlich einer Kombination des Totalreflexionsspiegels und der Kondensorlinse mit dem vergrößerten Totalreflexionsspiegel umfaßt, werden der Totalreflexionsspiegel und die Kondensorlinse, die das Bildübertragungssystem bilden, durch die Bewegungseinrichtungen in Richtung der optischen Achse des Laserresonators bewegt. Daher ist es möglich, den Weg des Laserlichtes im Laserresonator einzustellen und eine gleichmäßige Intensitätsverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente aufrechtzuerhalten. Folglich wird die Kompensa-

tion des Heizlinseneffektes erleichtert.

Des weiteren kann der vergrößerte Austrittsspiegel mit dem vergrößerten partiell reflektierenden Abschnitt am mittleren Abschnitt und dem nicht reflektierenden Abschnitt am Umfangsabschnitt anstelle des vergrößerten Totalreflexionsspiegels verwendet werden, um einen Laserstrahl zu schaffen, der einen kompakten Querschnitt (keinen pfannkuchenförmigen bzw. ringförmigen Querschnitt) aufweist. Es ist daher möglich, die Intensität des Laserlichtes, die erforderlich ist, um im wesentlichen das gleiche Konzentrationsvermögen zu erreichen, zu reduzieren und auf diese Weise die Belastung der Festkörperlaservorrichtung zu reduzieren.

Des weiteren kann die Festkörperlaservorrichtung Phasendifferenzbeseitigungseinrichtungen aufweisen, um einen kompakten Laserstrahl mit gleichmäßiger Phase zu erzeugen, der ein verbessertes Konzentrationsvermögen aufweist.

Des weiteren kontaktiert bei der Festkörperlaservorrichtung die piezoelektrische Vorrichtung mindestens die Kondensorlinse und/oder den Totalreflexionsspiegel, die das optische Bildübertragungssystem bilden, und die piezoelektrische Vorrichtung wird expandiert und kontrahiert, so daß der Bildübertragungszustand zwischen dem stabilen Zustand und instabilen Zustand hin und hergeschaltet werden kann. Es ist auf diese Weise möglich, durch rasches Verändern des Q-Wertes des Resonators eine Schwingung mit scharfen Impulsen zu erzeugen.

Des weiteren kann die Festkörperlaservorrichtung eine zweite Lichtquelle umfassen, um einen Lichtstrahl abzugeben, der die Festkörperkomponente und den Fotodetektor durchdringt, um einen Lichtstrahl zu erhalten und die Veränderung im Außendurchmesser des Lichtstrahles zu messen. Wenn daher die piezoelektrische Vorrichtung unabhängig von den Ergebnissen der Detektion betrieben wird, ist es möglich, den Heizlinseneffekt der Festkörperkomponente zu beseitigen, während man Schwankungen des Heizlinseneffektes in einer kurzen Zeit genau nachfolgt. Folglich wird die Kompensation des Heizlinseneffektes erleichtert.

Die Festkörperlaservorrichtung kann darüber hinaus ein Gehäuse umfassen, das den Totalreflexionsspiegel und die Kondensorlinse, die das Bildübertragungssystem bilden, aufnimmt. Damit ist es möglich, eine Verschlechterung der Qualität des Laserstrahles infolge der Erzeugung eines Plasmas zu vermeiden, das durch den am Konzentrationspunkt des Laserlichtes, der zwischen dem Totalreflexionsspiegel und der Kondensorlinse angeordnet ist, erhitzten Staub verursacht wird.

Die Festkörperlaservorrichtung kann ein im Gehäuse vorgesehenes Luftloch aufweisen. Es ist damit möglich zu verhindern, daß in der Luft befindliche Feuchtigkeit den Laserstrahl absorbiert, wenn eine Vakuumpumpe an das Luftloch angeschlossen wird. Alternativ dazu ist es möglich, die Erzeugung eines Plasmas in der Nachbarschaft des Konzentrationspunktes zu verhindern, indem man ein inaktives Gas in das Gehäuse einführt.

Bei der Laserbearbeitungsvorrichtung wird der Laserstrahl von der die raue Oberfläche aufweisenden Festkörperkomponente erzeugt und in die optische Faser eingeführt, um an den entfernten Ort überführt zu werden. Die Laserbearbeitung wird durch Ausnutzung des von der Faser abgegebenen Laserstrahles am entfernten Ort durchgeführt. Es ist somit möglich, in wirksamer und sicherer Weise das Licht in die Faser einzuführen und dadurch eine wirksame und sichere Laserbearbeitung durchzuführen.

Bei der Laserbearbeitungsvorrichtung wird der von der Festkörperkomponente, die die raue Oberfläche aufweist, erzeugte Laserstrahl ferner durch ein optisches Kondensorsystem konzentriert, um die Laserbearbeitung durchzuführen. Damit ist es möglich, einen Laserstrahl zu schaffen, der zu einem kleinen Punkt konzentriert wird, und eine wirksame Laserbearbeitung unter Verwendung dieses Laserstrahls durchzuführen.

Bei der Laserbearbeitungsvorrichtung wird die Festkörperkomponente durch Kontakt mit einer Flüssigkeit gekühlt. Die Festkörperkomponente besitzt einen größeren Brechungsindex als die Flüssigkeit. Die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente wird in Längsrichtung variiert, um die Erregungsverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente einzustellen. Es ist damit möglich, die Stabilität der Laserbearbeitungsvorrichtung zu verbessern, beispielsweise durch Reduzierung der Rauigkeit der Fläche, die das zum Abdichten des Kühlmediums eingesetzte Dichtungsmaterial kontaktiert, um eine zuverlässige Dichtung vorzusehen.

Bei der Festkörperlaservorrichtung wird der von der Laservorrichtung erzeugte Laserstrahl durch das optische System in die Nähe des Werkstücks überführt und konzentriert. Der Laserstrahl verläuft nach dem Konzentrieren weiter und wird erneut konzentriert, um ihn in das Werkstück einzuführen und die Laserbearbeitung durchzuführen. Es ist damit möglich, den infolge der am Konzentrationspunkt des Laserstrahles erzeugten Beugungswelle entstehenden peripheren Strahl zu beseitigen, so daß eine wirksame Laserbearbeitung mit hoher Qualität erreicht werden kann.

Bei der Festkörperlaservorrichtung wird der von der Laservorrichtung erzeugte Laserstrahl vom optischen System in die Nähe des Werkstücks übertragen und konzentriert. Des weiteren wird die Beugungswelle durch eine Blende vom Laserstrahl entfernt, wobei diese Blende in der Nähe des Brennpunktes angeordnet ist, und der Laserstrahl wird danach erneut konzentriert, um in das Werkstück eingeführt zu werden und die Laserbearbeitung durchzuführen. Es ist damit möglich, den peripheren Strahl aufgrund der am Konzentrationspunkt des Laserstrahles erzeugten Beugungswelle zu beseitigen, wodurch eine wirksame Laserbearbeitung mit hoher Qualität erreicht wird.

Bei der Festkörperlaservorrichtung wird der von der Laservorrichtung erzeugte Laserstrahl durch das optische System in die Nähe des Werkstücks übertragen und konzentriert. Des weiteren wird die Beugungswelle vom Laserstrahl durch einen übersättigten Absorber entfernt, der in der Nachbarschaft des Brennpunktes angeordnet ist, und der Laserstrahl wird danach erneut konzentriert, um in das Werkstück eingeführt zu werden und die Laserbearbeitung durchzuführen. Es ist daher möglich, den peripheren Strahl aufgrund der am Konzentrationspunkt des Laserstrahles erzeugten Beugungswelle zu entfernen, wodurch eine wirksame Laserbearbeitung mit hoher Qualität erzielt wird.

Erfindungsgemäß wird somit eine Festkörperlaservorrichtung vorgeschlagen, mit der ein Laserstrahl hoher Qualität und hoher Energie erzeugt werden kann. Es wird ferner eine Laserbearbeitungsvorrichtung vorgeschlagen, mit der eine Laserbearbeitung mit einem Laserstrahl durchgeführt werden kann, der von der Festkörperlaservorrichtung erzeugt wird. Bei der Festkörperlaservorrichtung besitzt ein Laserresonator eine Festkörperkomponente, die in einem zylindrischen Rohr durch Kontakt mit einer Flüssigkeit gekühlt wird, welche durch eine Einlaßöffnung eingeführt und durch

eine Auslaßöffnung herausgeführt wird, hat die Festkörperkomponente einen größeren Brechungsindex als die Flüssigkeit, erregt eine durch eine Energiequelle eingeschaltete Lichtquelle die Festkörperkomponente und überträgt ein optisches System Licht von der Lichtquelle zur Festkörperkomponente. Die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente wird eingestellt, besitzt ein Laserresonator eine Festkörperkomponente, die in einem zylindrischen Rohr durch Kontakt mit einer Flüssigkeit gekühlt wird, welche durch eine Einlaßöffnung eingeführt und durch eine Auslaßöffnung herausgeführt wird, hat die Festkörperkomponente einen größeren Brechungsindex als die Flüssigkeit, erregt eine durch eine Energiequelle eingeschaltete Lichtquelle die Festkörperkomponente und überträgt ein optisches System Licht von der Lichtquelle zur Festkörperkomponente. Die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente wird eingestellt, um die Erregungsverteilung im Schnitt der Festkörperkomponente einzustellen. Die Festkörperkomponente umfaßt desweiteren Bewegungseinrichtungen zur Bewegung eines Reflexionsspiegels und einer Kondensorlinse in Richtung der optischen Achse des Laserresonators sowie ein Gehäuse zur Aufnahme des optischen Bildübertragungssystems. Ein Laserstrahl wird vom Laserresonator erzeugt und nach außen abgegeben sowie zur Durchführung der Laserbearbeitung verwendet.

Patentansprüche

1. Festkörperlaservorrichtung, gekennzeichnet durch:

eine Festkörperkomponente (300), die durch eine hiermit in Kontakt stehende Flüssigkeit gekühlt wird, einen höheren Brechungsindex als die Flüssigkeit aufweist und ein laseraktives Medium besitzt; eine Lichtquelle (4) zum Erregen der Festkörperkomponente (300);

eine Lichterregungsvorrichtung zum Übertragen des Lichtes von der Lichtquelle (4) zur Festkörperkomponente (300); und

einen Laserresonator zum Ableiten eines Laserstrahles von der Festkörperkomponente (300), wobei die Erregungsverteilung in einem Schnitt der Festkörperkomponente (300) durch Einstellung der Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente (300) eingestellt wird.

2. Festkörperlaservorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Festkörperkomponente (300) so eingestellt wird, daß sie eine Oberflächenrauigkeit von $130 \mu''$ RMS oder mehr aufweist.

3. Festkörperlaservorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichterregungsvorrichtung eine Lichtquelle (4) und einen Kondensor (6) zum Begrenzen des Lichtes der Lichtquelle umfaßt.

4. Festkörperlaservorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichterregungsvorrichtung eine Lichtquelle (4) und einen Kondensor (6) vom diffus reflektierenden Typ aufweist, um das Licht der Lichtquelle (4) zu begrenzen.

5. Festkörperlaservorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vielzahl von Festkörperkomponenten (300) in der Richtung der optischen Achse angeordnet ist.

6. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vielzahl der Festkörperkomponenten (300) in Richtung der optischen Achse angeordnet ist und daß ein optisches System zur Heizlinsenkorrektur mindestens eine optische Linse (12) aufweist, die zwischen die Vielzahl der Festkörperkomponenten (300) eingesetzt ist. 5
7. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserresonator ein stabiler Resonator ist. 10
8. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserresonator ein instabiler Resonator ist.
9. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserresonator einen Austrittsspiegel (25) mit einem teilreflektierenden Abschnitt (26) an einem mittleren Abschnitt und einem nicht reflektierenden Abschnitt (27) an einem Umfangsabschnitt und einen einzigen Reflexionsspiegel aufweist. 15 20
10. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserresonator einen Austrittsspiegel (25) mit einem teilreflektierenden Abschnitt (26) an einem mittleren Abschnitt und einem nicht reflektierenden Abschnitt (27) an einem Umfangsabschnitt und Einrichtungen zum Kompensieren einer Phasendifferenz eines durch beide Abschnitte dringenden Laserstrahles sowie einen einzigen Reflexionsspiegel aufweist. 25 30
11. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserresonator einen Austrittsspiegel (25) mit einem teilreflektierenden Abschnitt (26) an einem mittleren Abschnitt und einem nicht reflektierenden Abschnitt (27) an einem Umfangsabschnitt sowie ein optisches Heizlinsenkorrektursystem aufweist. 35
12. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserresonator einen Austrittsspiegel (25) mit einem teilreflektierenden Abschnitt (26) an einem mittleren Abschnitt und einem nicht reflektierenden Abschnitt (27) an einem Umfangsabschnitt sowie Einrichtungen zum Kompensieren einer Phasendifferenz eines durch beide Abschnitte dringenden Laserstrahles sowie ein optisches Heizlinsenkorrektursystem aufweist. 40 45
13. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (4) ein Halbleiterlaser (400) ist. 50
14. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (4) ein Halbleiterlaser (400) ist und daß die Wellenlänge des Halbleiterlasers (400) und die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente (300) so eingestellt sind, daß in der Festkörperkomponente (300) eine gleichmäßige Erregungsverteilung erhalten wird. 55 60
15. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserresonator eine Vielzahl von optischen Komponenten aufweist, die in mindestens einer Position angeordnet sind, und daß ein optisches Heizlinsenkorrektursystem zur Steuerung Anwendung findet, um mindestens einen der Abstände

zwischen den optischen Komponenten in Abhängigkeit von der Leistung der Lichtquelle (4) zu verändern.

16. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein optisches Bildübertragungssystem vom Reflexionstyp oder Transmissionstyp als optisches Heizlinsenkorrektursystem verwendet wird.
17. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein von einer Festkörperkomponente (300), die getrennt vorgesehen ist, erzeugter Laserstrahl in eine andere Festkörperkomponente eingeführt wird, um einen verstärkten Laserstrahl nach außen abzuleiten.
18. Festkörperlaser Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenrauigkeit der Festkörperkomponente (300) in Längsrichtung verändert ist, um eine Erregungsverteilung in einem Schnitt der Festkörperkomponente (300) einzustellen.
19. Laserbearbeitungsvorrichtung zur Durchführung einer Laserbearbeitung durch Einführung eines von einer Festkörperlaser Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 18 erzeugten Laserstrahles durch ein optisches System in eine Endfläche einer optischen Faser (300) und durch Verwendung des von der entgegengesetzten Endfläche abgegebenen Laserstrahles.
20. Laserbearbeitungsvorrichtung zur Durchführung einer Laserbearbeitung durch Konzentration eines von einer Festkörperlaser Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 18 erzeugten Laserstrahles durch ein optisches Kondensorsystem.
21. Laserbearbeitungsvorrichtung gekennzeichnet durch: ein optisches System, das einen von einer Festkörperlaser Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 18 erzeugten Laserstrahl in die Nähe eines Werkstücks (800) führt, wobei die Laserbearbeitungsvorrichtung eine Laserbearbeitung durchführt, indem sie eine Bildübertragung eines vom optischen System auf das Werkstück (800) abgegebenen Laserstrahles durchführt und den Laserstrahl in das Werkstück einführt.
22. Laserbearbeitungsvorrichtung, gekennzeichnet durch: ein optisches System, das einen von einer Festkörperlaser Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 18 erzeugten Laserstrahl in die Nähe eines Werkstücks (800) führt; ein optisches Kondensorsystem zum Konzentrieren eines vom optischen System abgegebenen Laserstrahles; und eine Blende (50), die in der Nähe des Brennpunktes angeordnet ist, der vom optischen Kondensorsystem erzeugt wird, wobei der Laserstrahl durch Rückübertragung nach Konzentration durch das optische Kondensorsystem geleitet und erneut konzentriert wird, um in das Werkstück eingeführt zu werden und da eine Laserbearbeitung durchzuführen.
23. Laserbearbeitungsvorrichtung, gekennzeichnet durch: ein optisches System, das einen von einer Festkörperlaser Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 18 erzeugten Laserstrahl in die Nähe eines Werkstücks (800) führt; ein optisches Kondensorsystem zum Konzentrie-

ren eines vom optischen System abgegebenen Laserstrahles; und
einen übersättigten Laserstrahlabsorber (3000), der
in der Nähe eines Brennpunktes angeordnet ist, der
vom optischen Kondensorsystem erzeugt wird, 5
so daß der Laserstrahl durch Retransmission nach
Konzentration durch das optische Kondensorsystem
geleitet und erneut konzentriert wird, um in
das Werkstück eingeführt zu werden und die Laser-
bearbeitung durchzuführen. 10

Hierzu 42 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 3 (a)

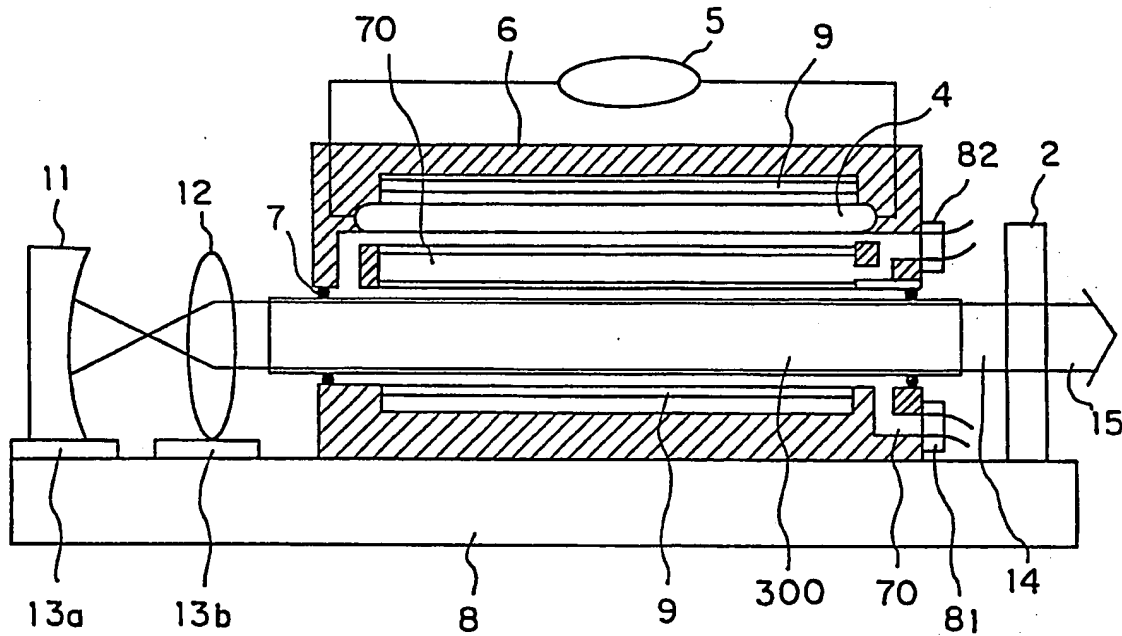


FIG. 3 (b)

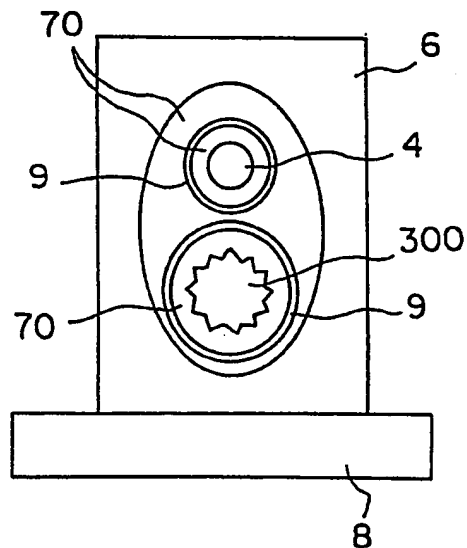


FIG. 1

(a)

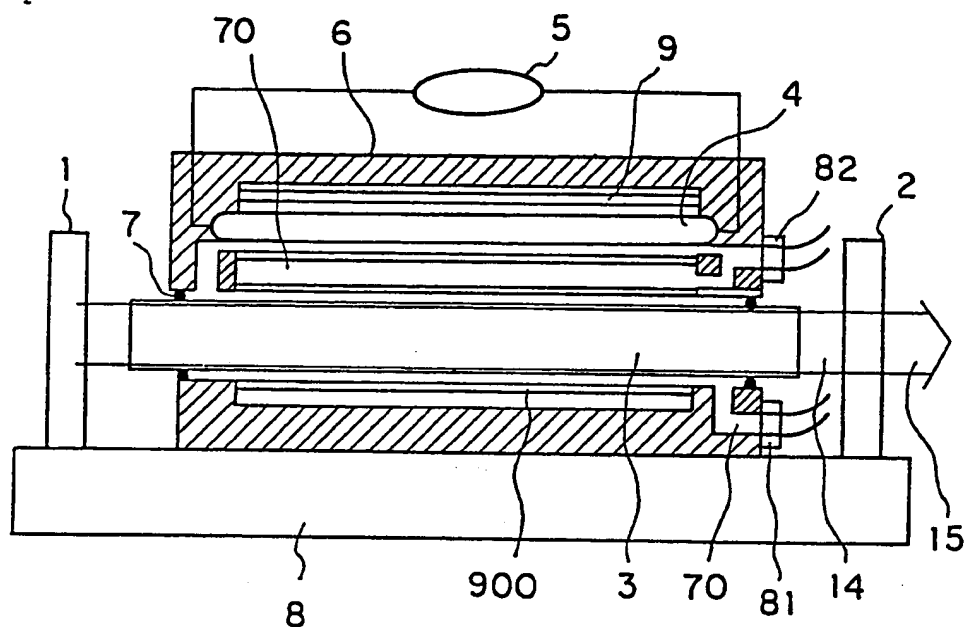


FIG. 1

(b)

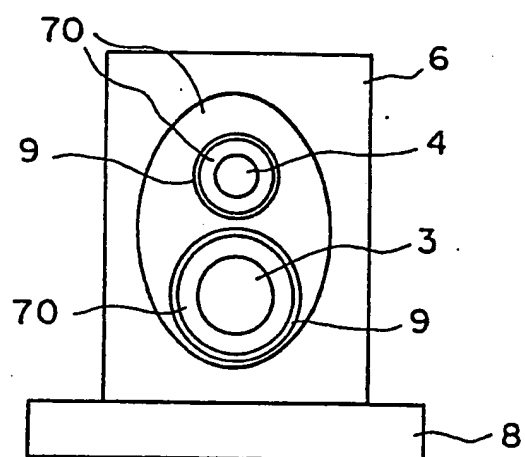


FIG. 2

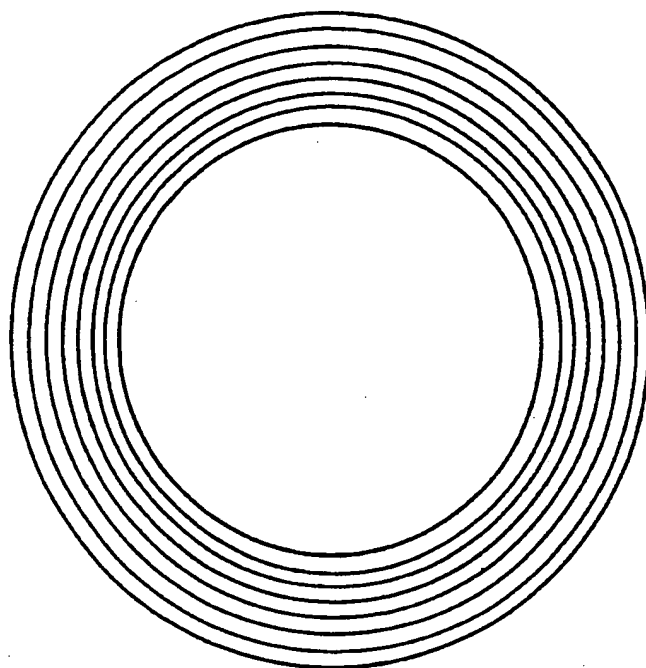


FIG. 4

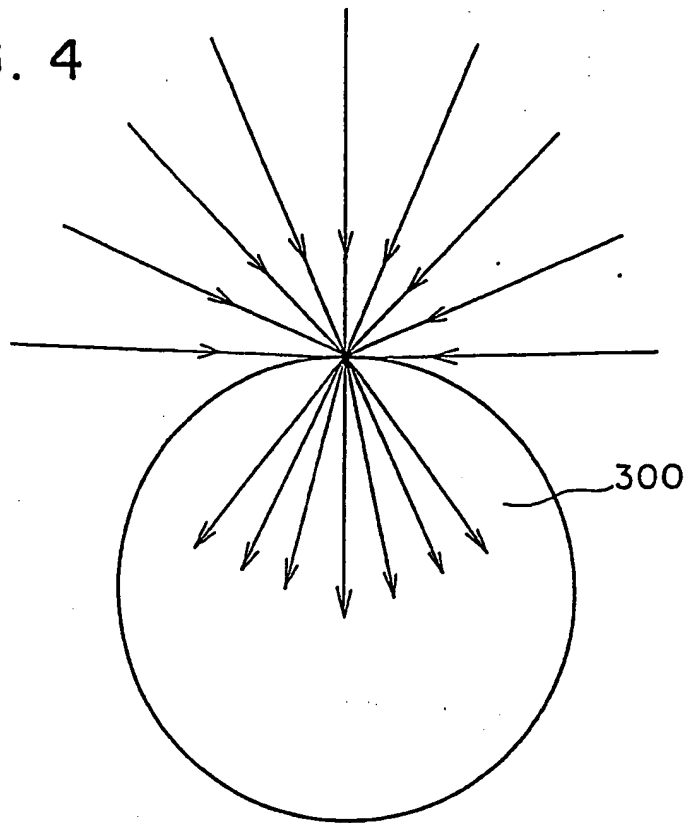


FIG. 5

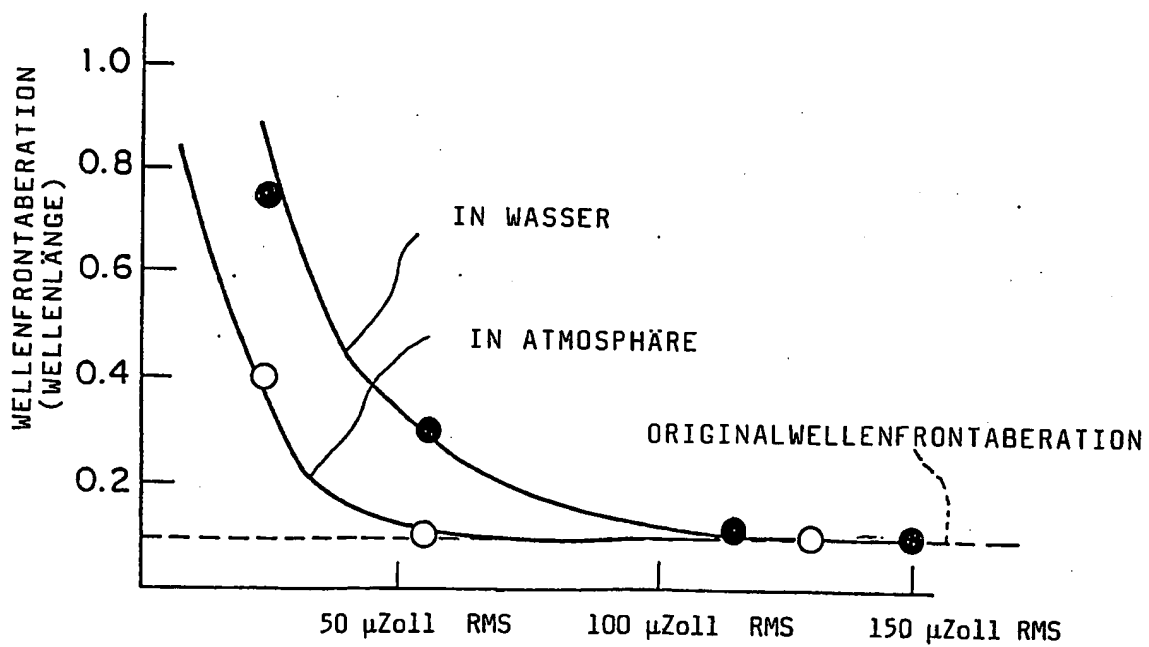


FIG. 6

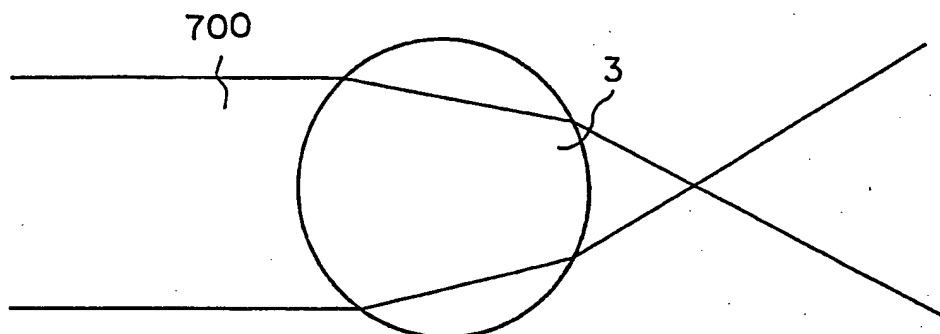


FIG. 7

(a)

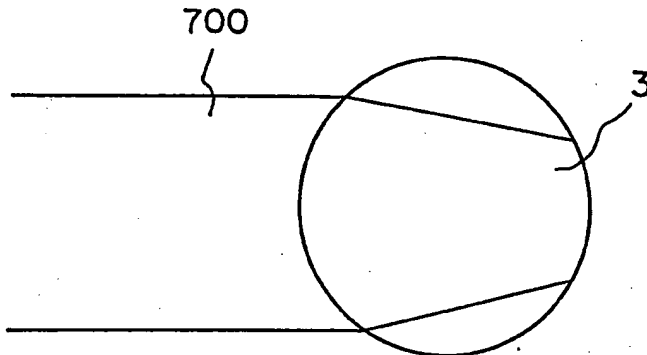


FIG. 7

(b)

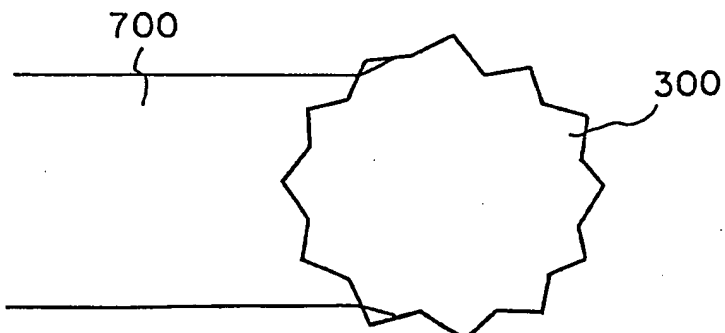


FIG. 8

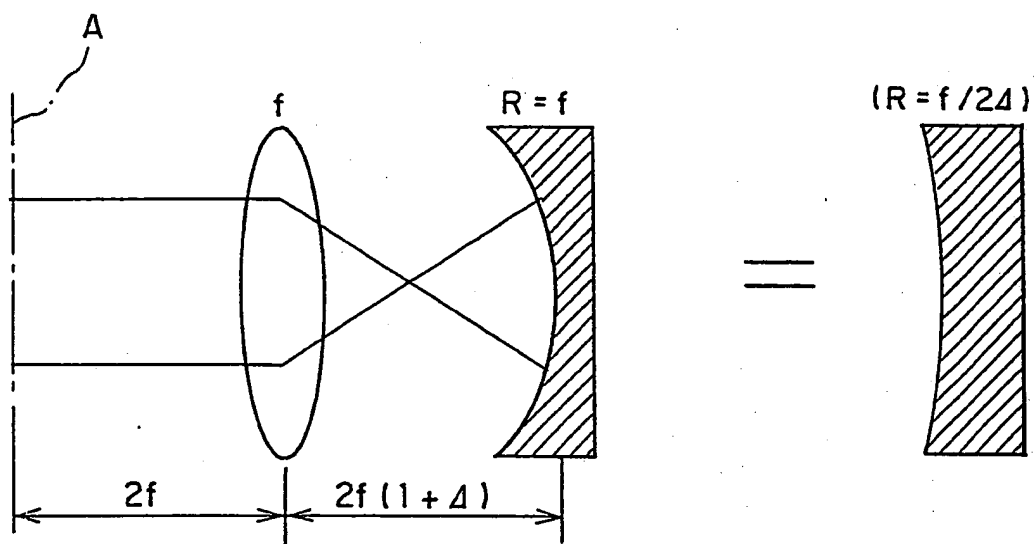


FIG. 9

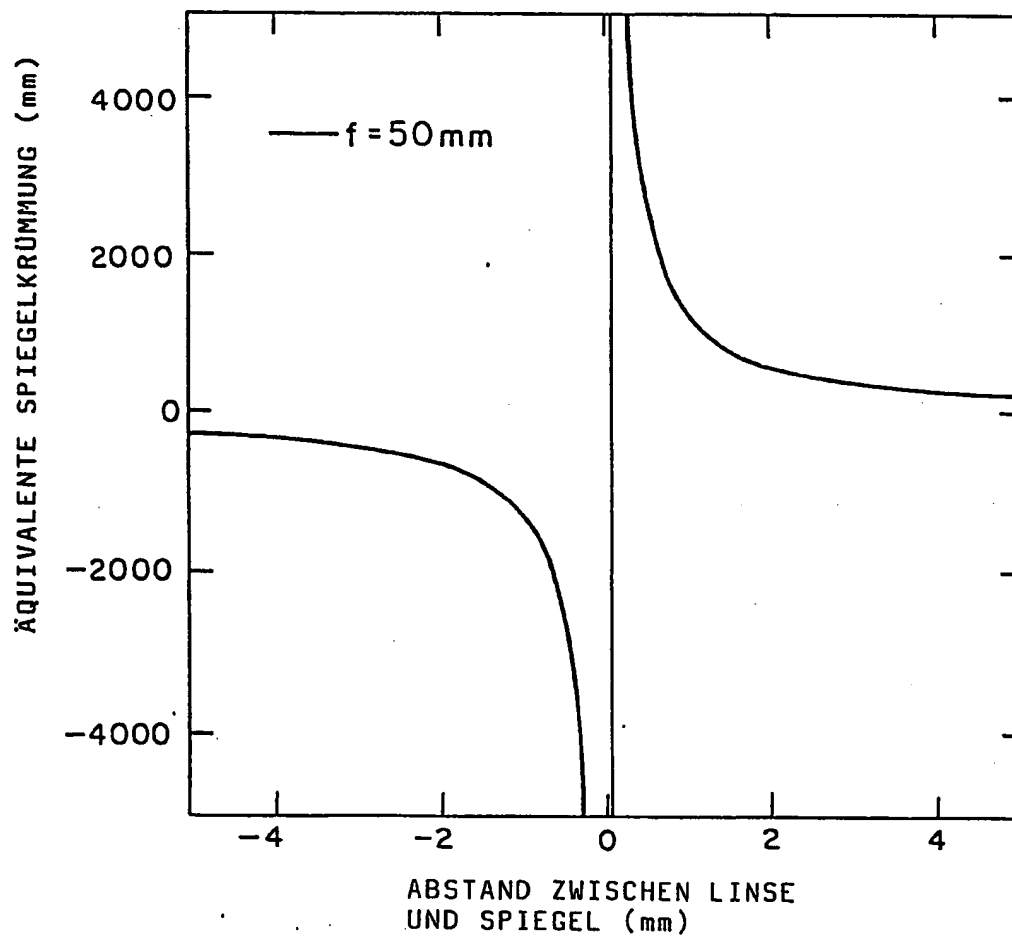


FIG. 10

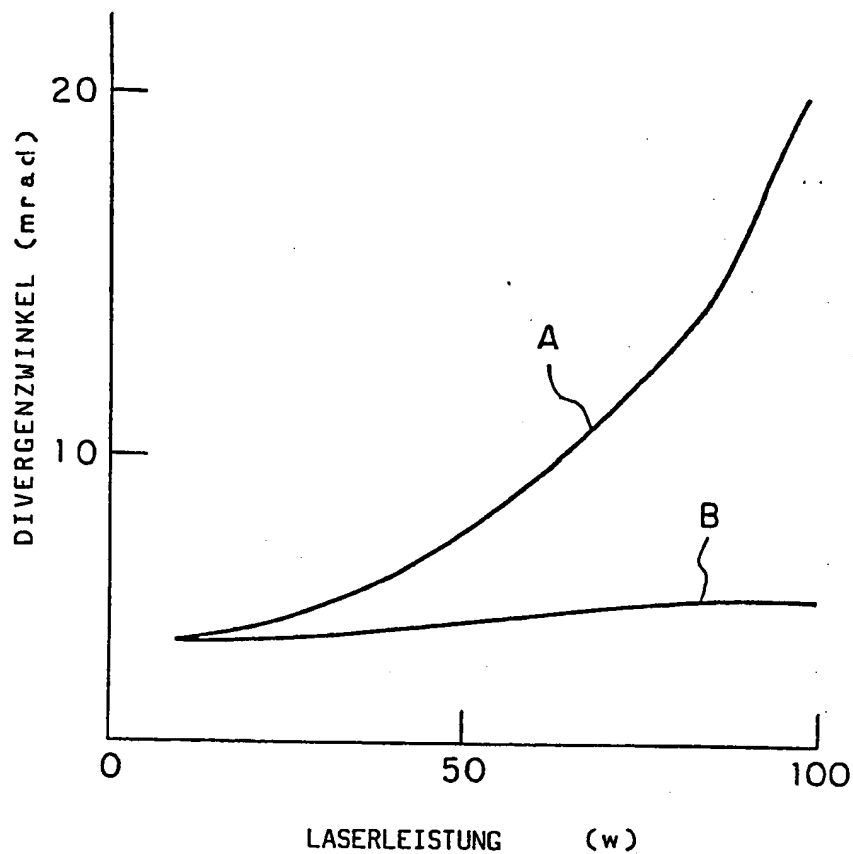


FIG. 12

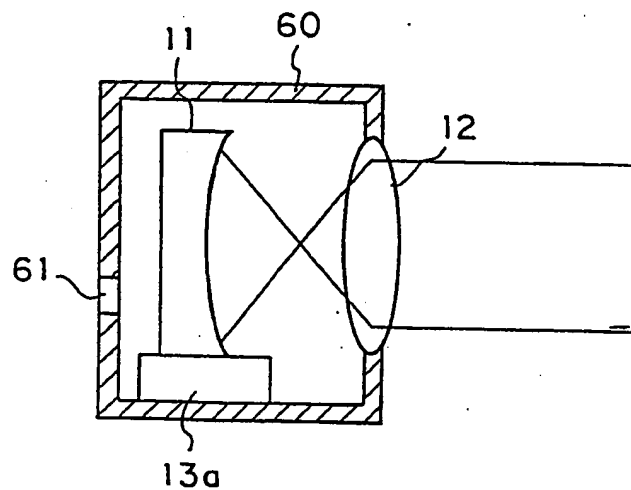
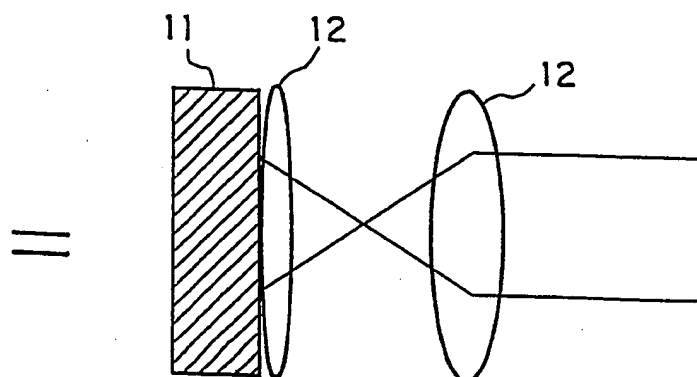
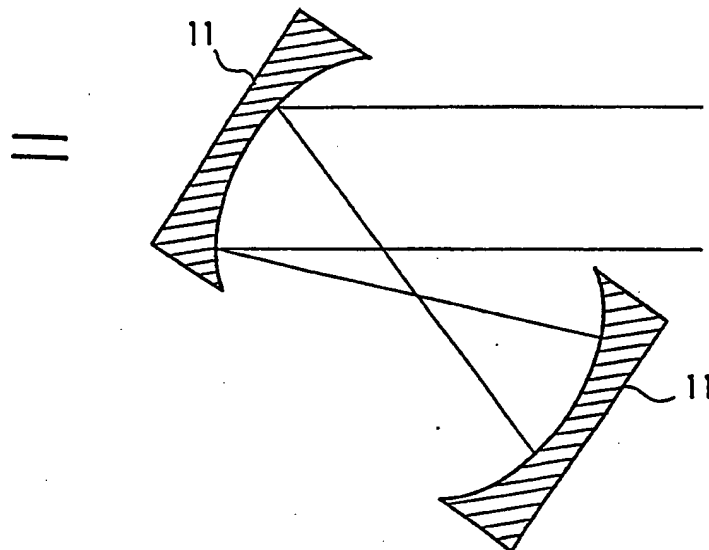
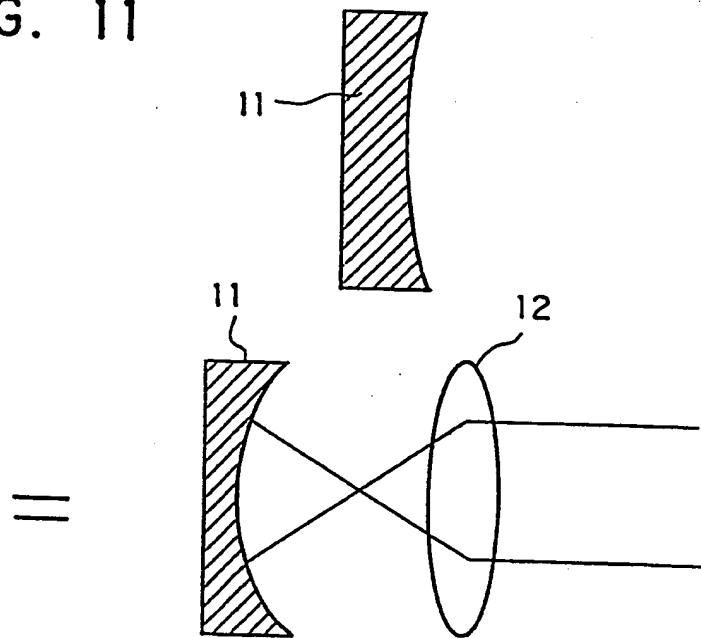


FIG. 11



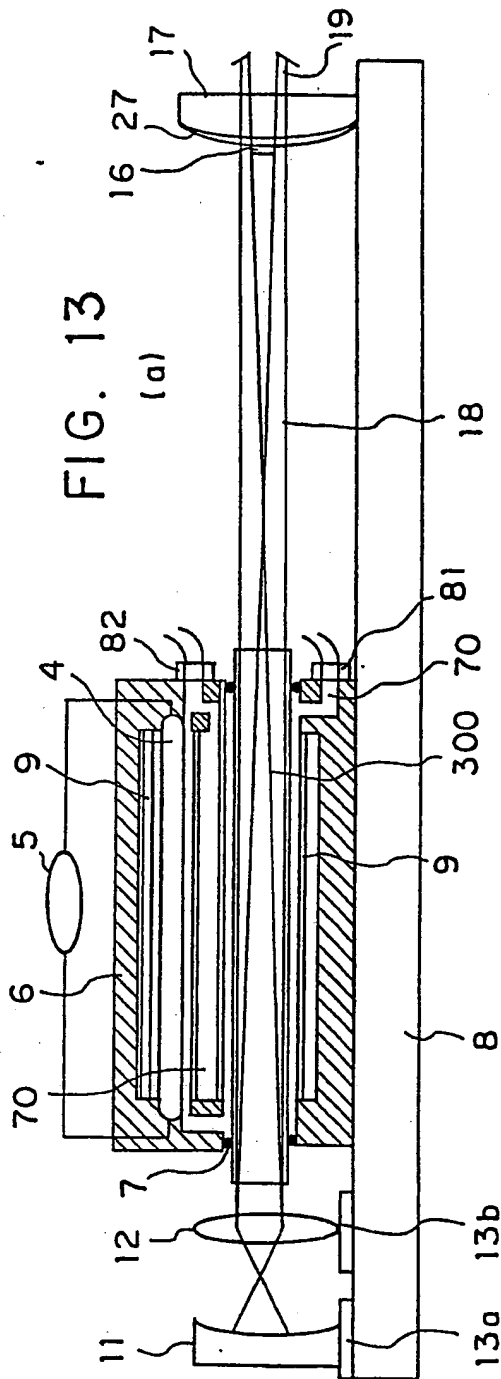


FIG. 13

(b)

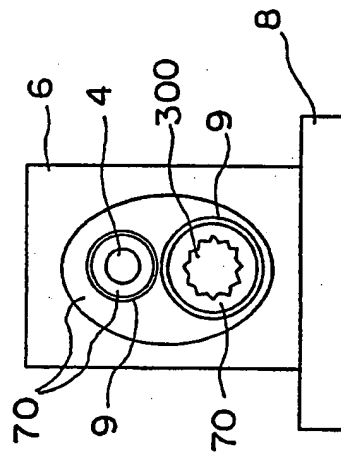


FIG. 14 (a)

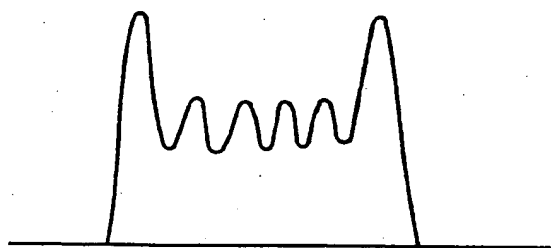
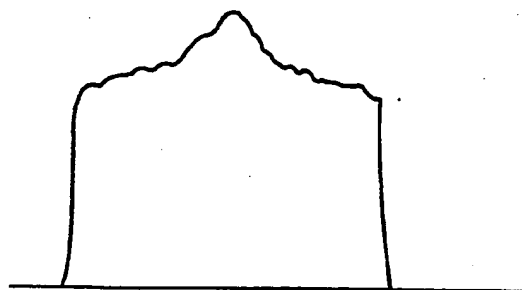


FIG. 14 (b)



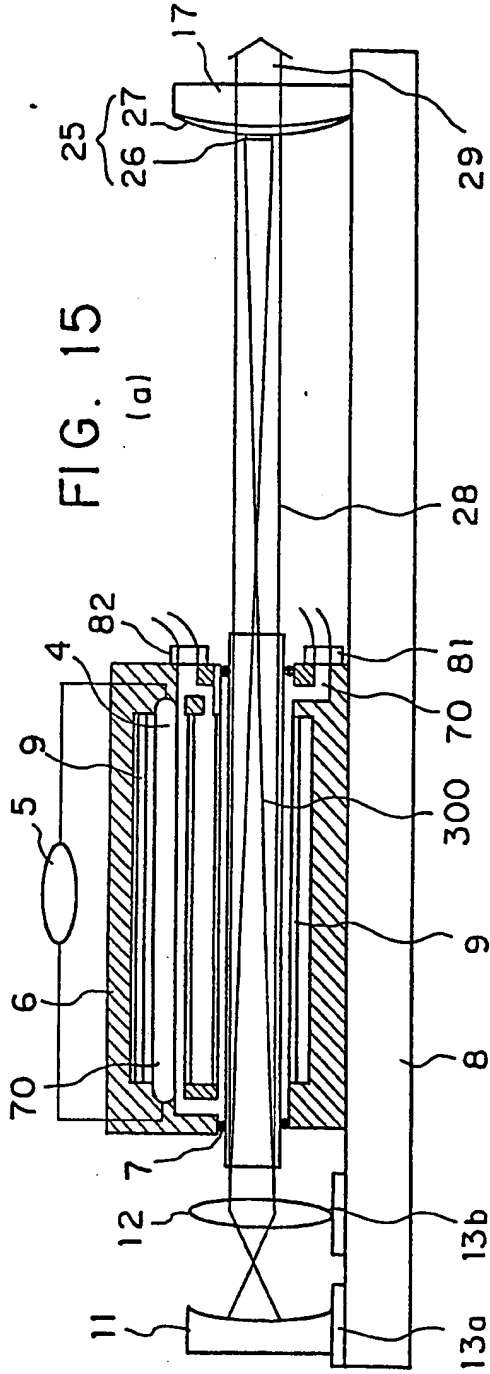


FIG. 15
(a)

FIG. 15
(b)

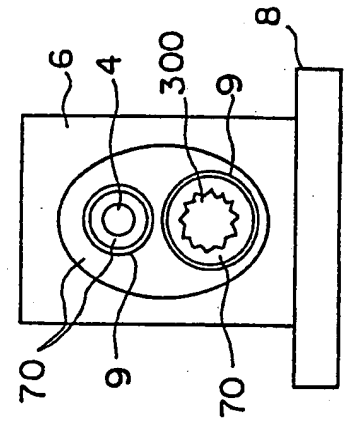
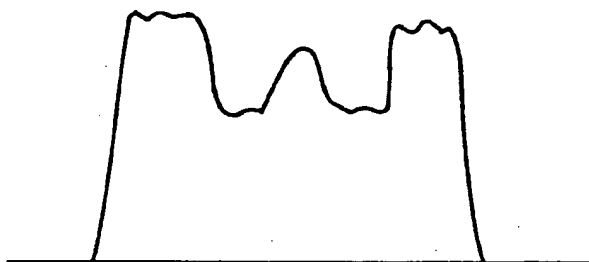
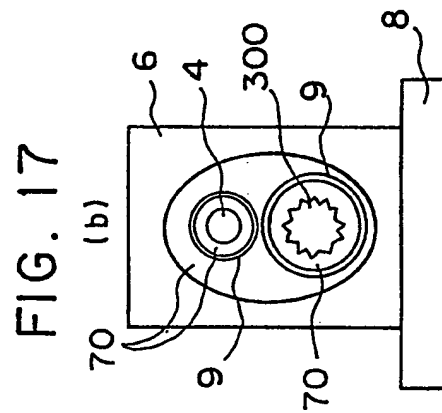
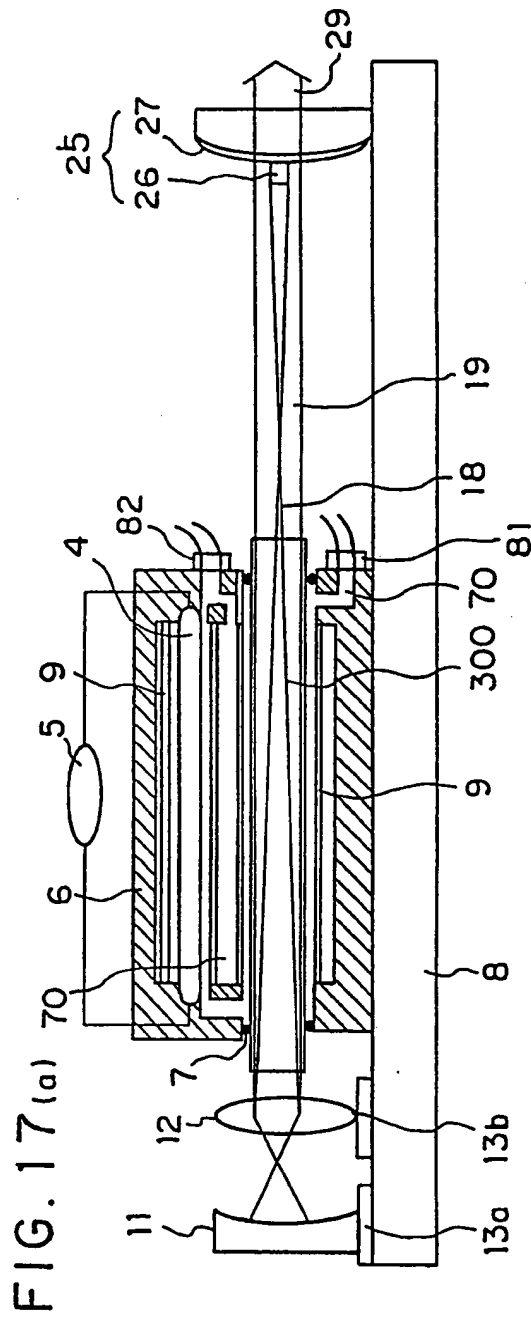


FIG. 16





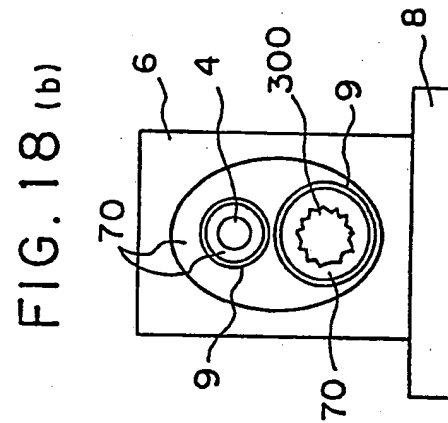
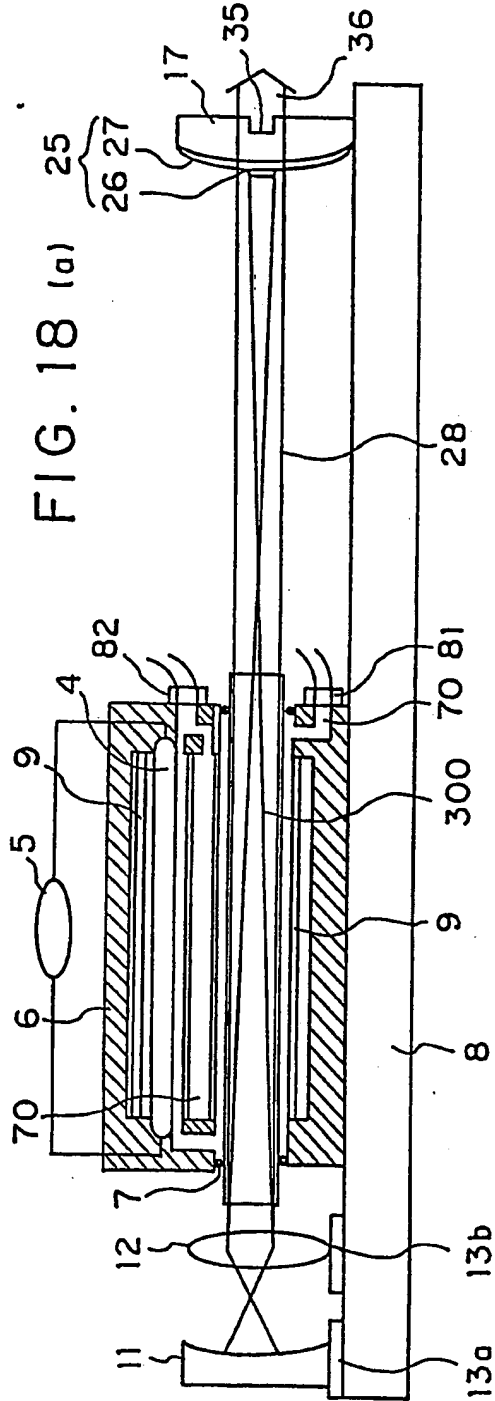


FIG. 19

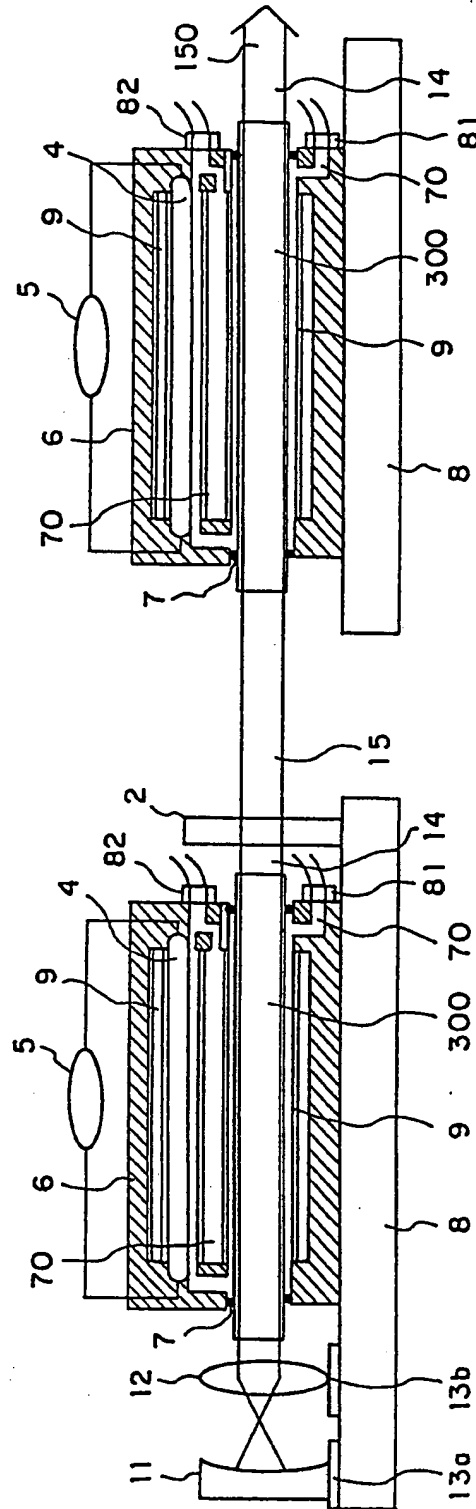


FIG. 20

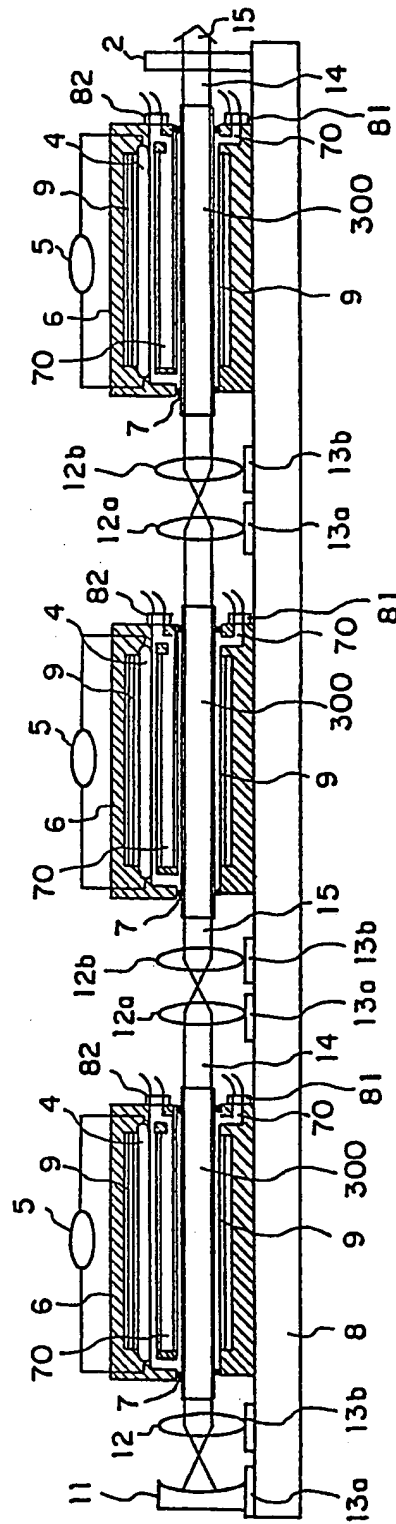


FIG. 21

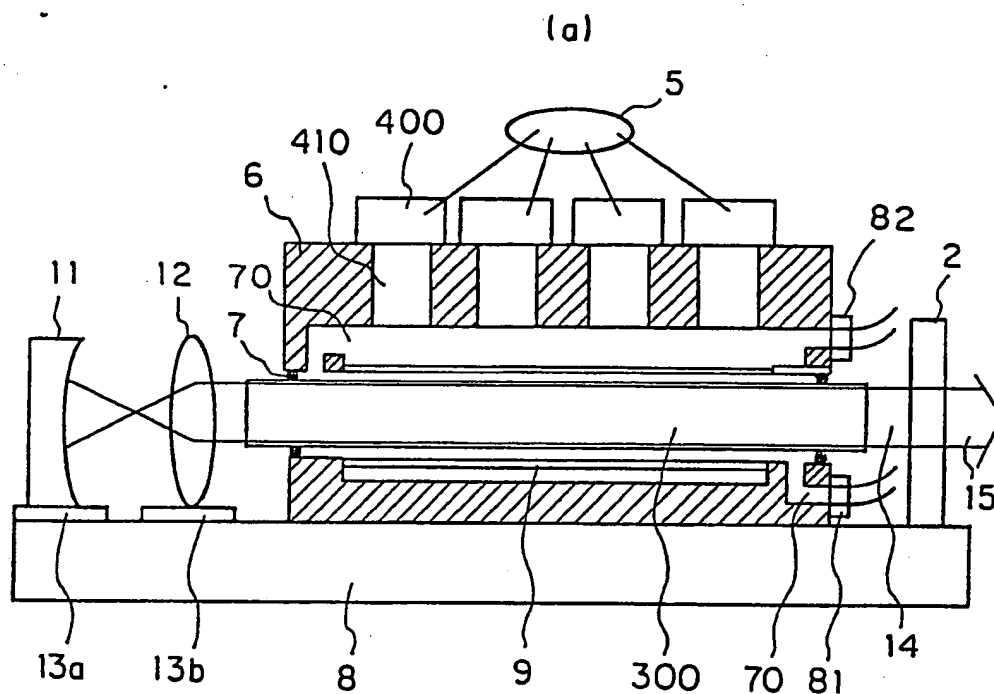


FIG. 21 (b)

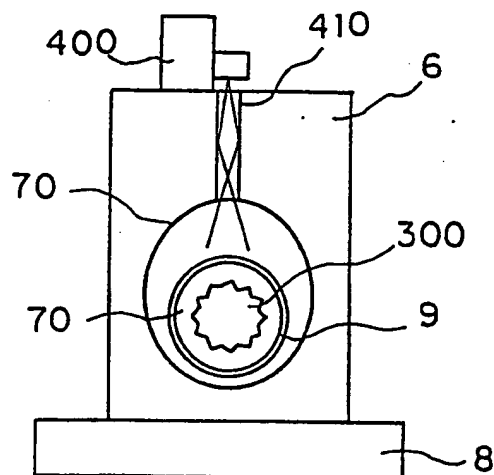


FIG. 22

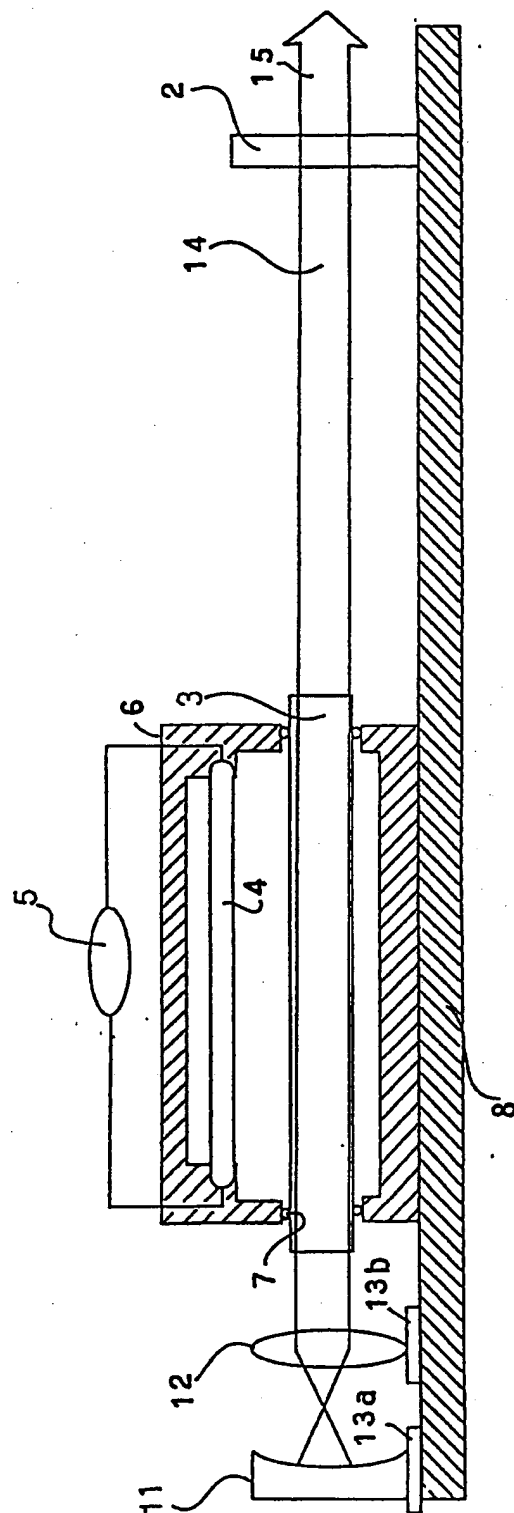


FIG. 23

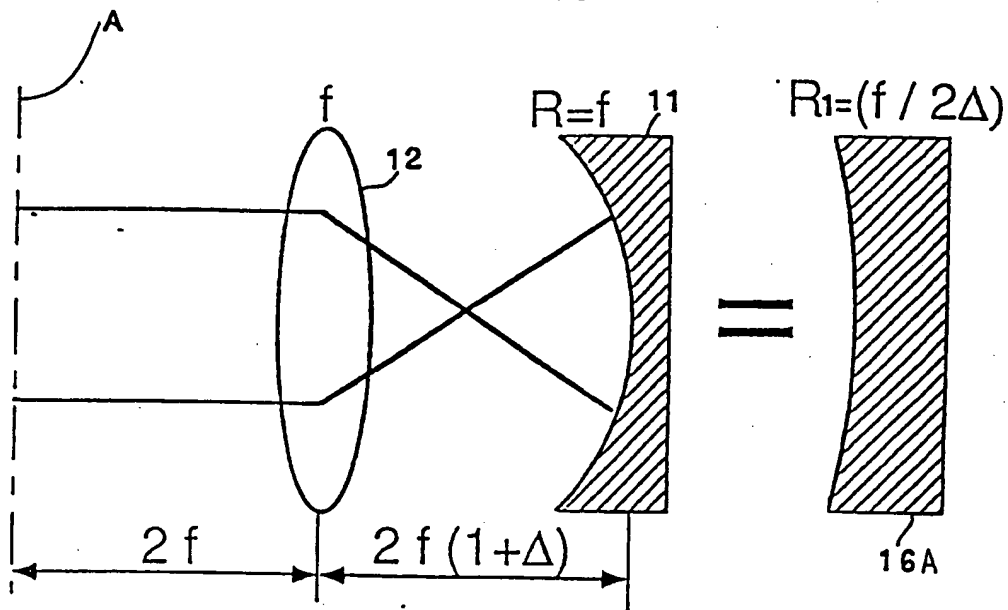


FIG. 24

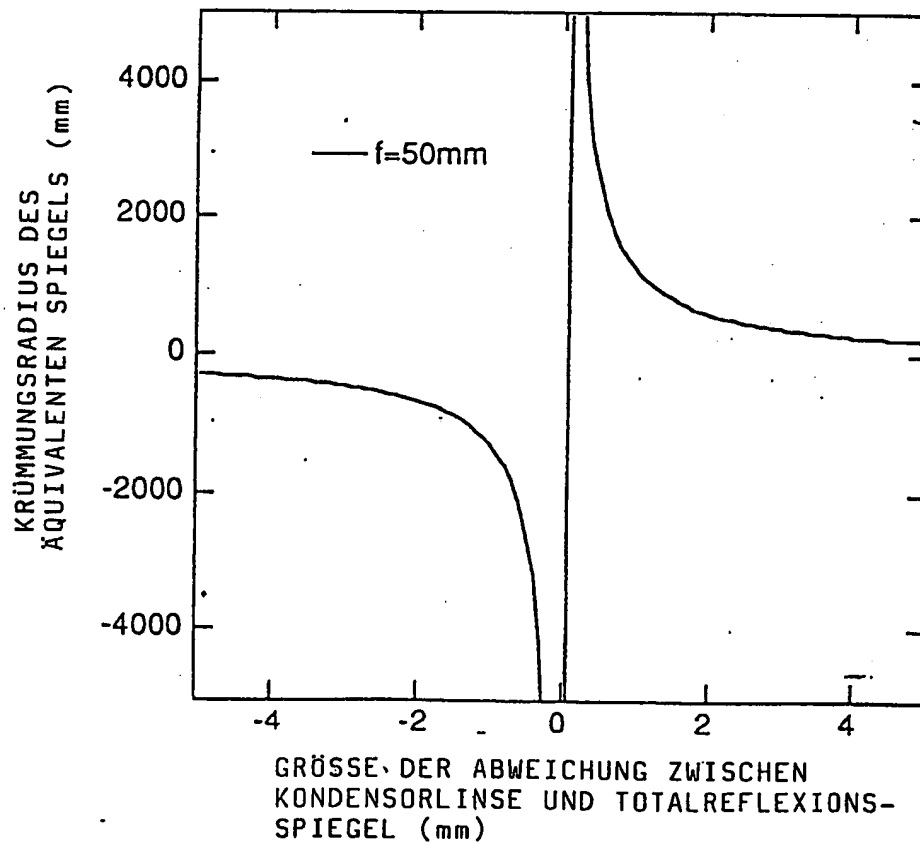


FIG. 25

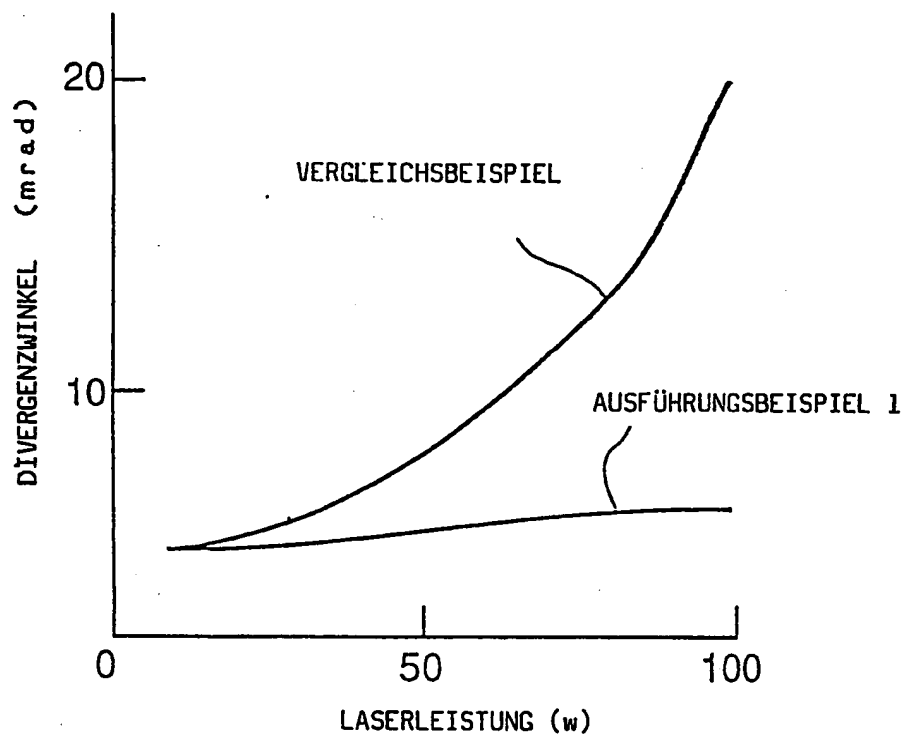


FIG. 26

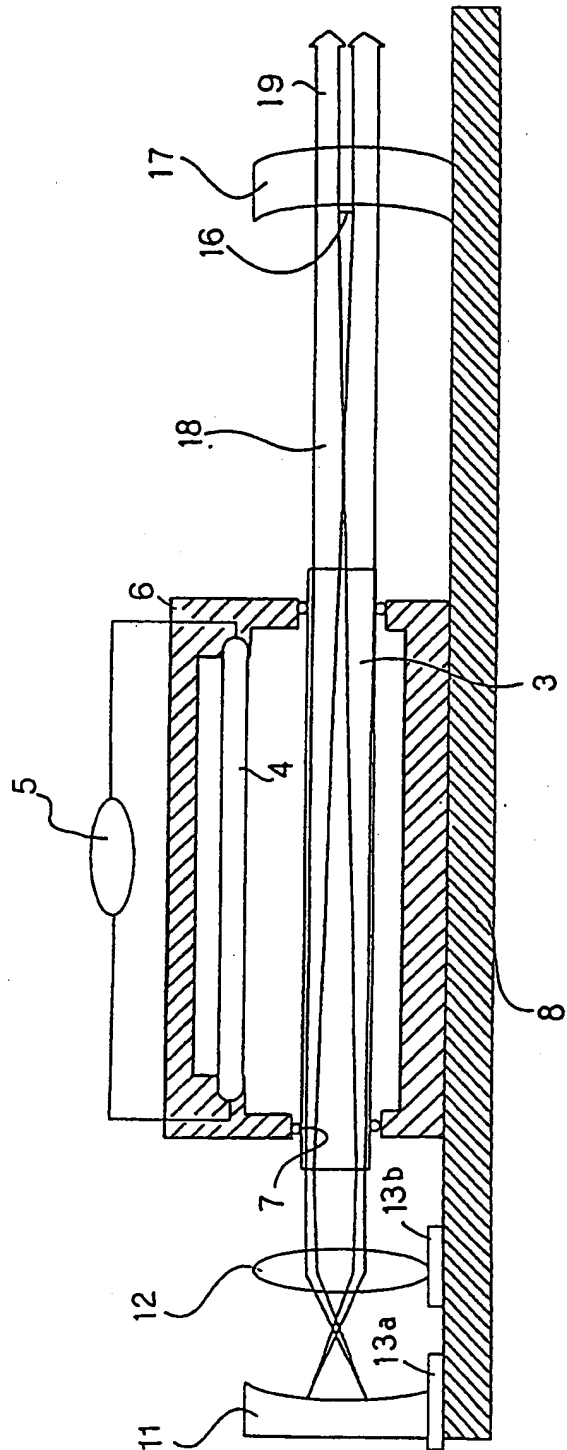


FIG. 27

(a)

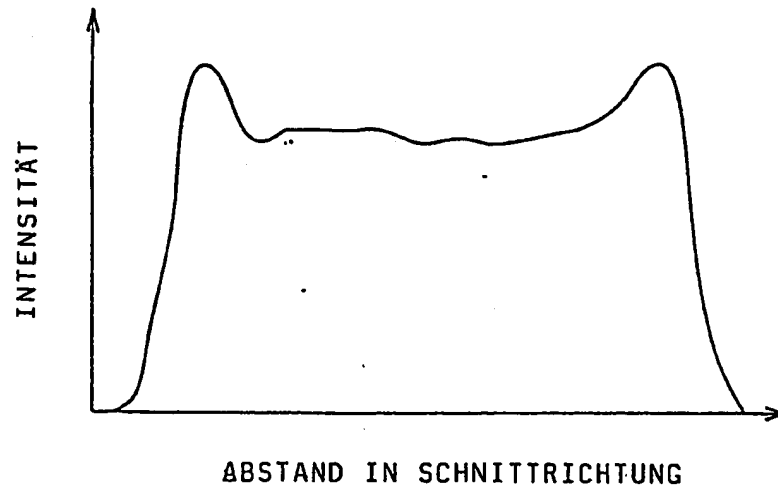


FIG. 27

(b)

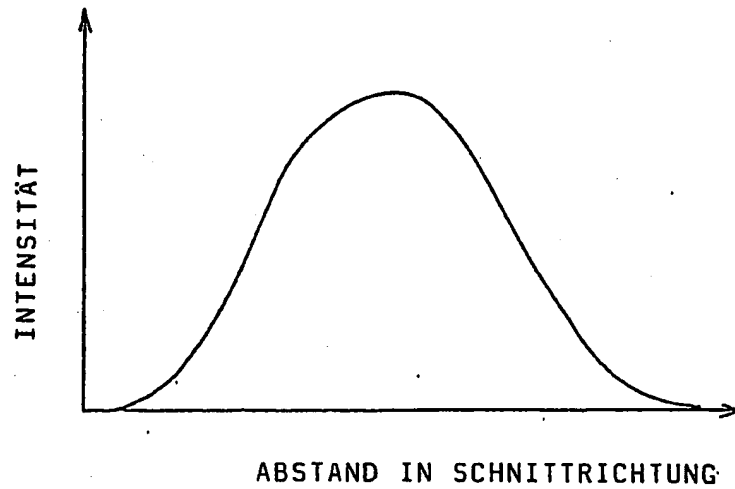


FIG. 27

(a)

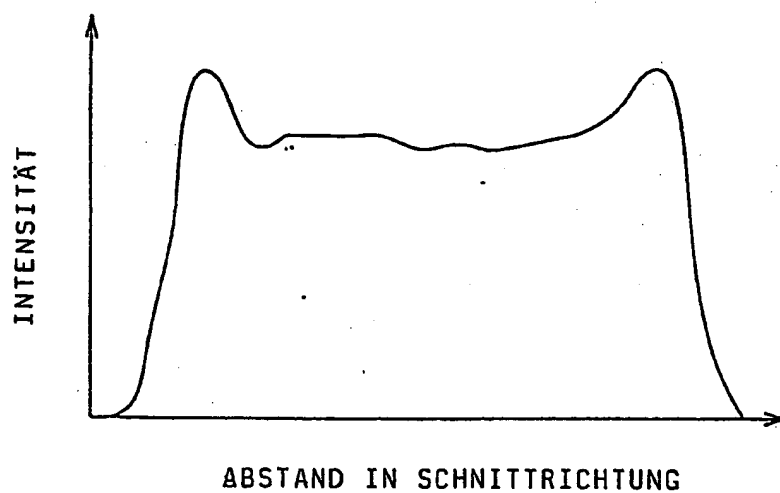


FIG. 27

(b)

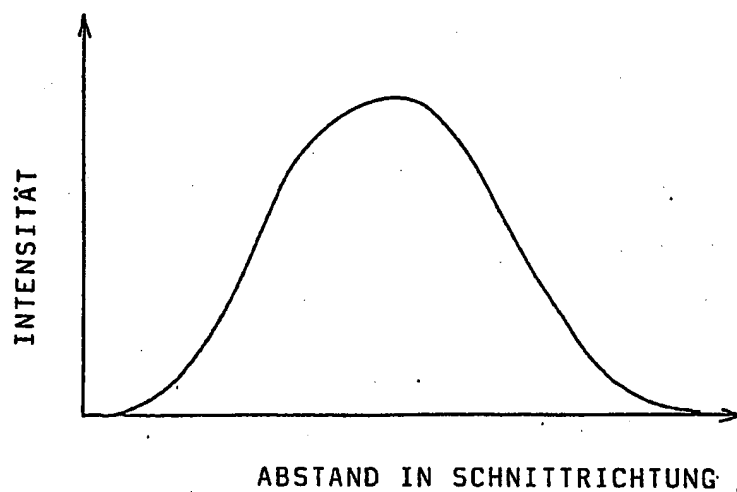


FIG. 28

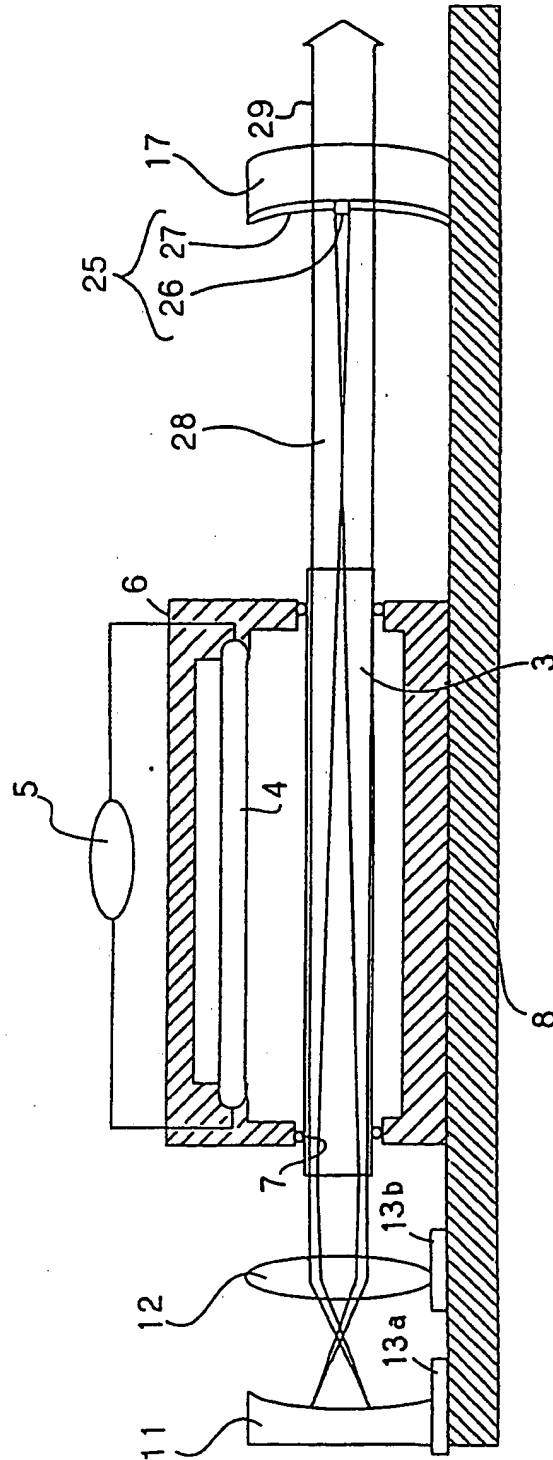


FIG. 29

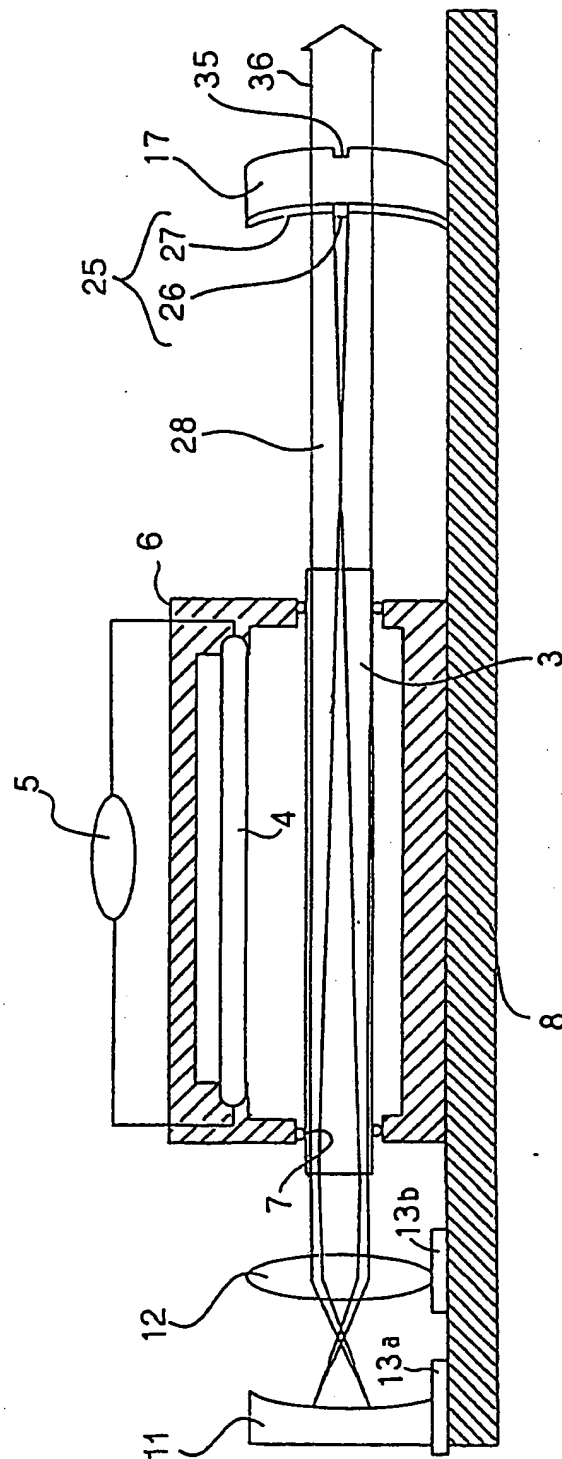


FIG. 30

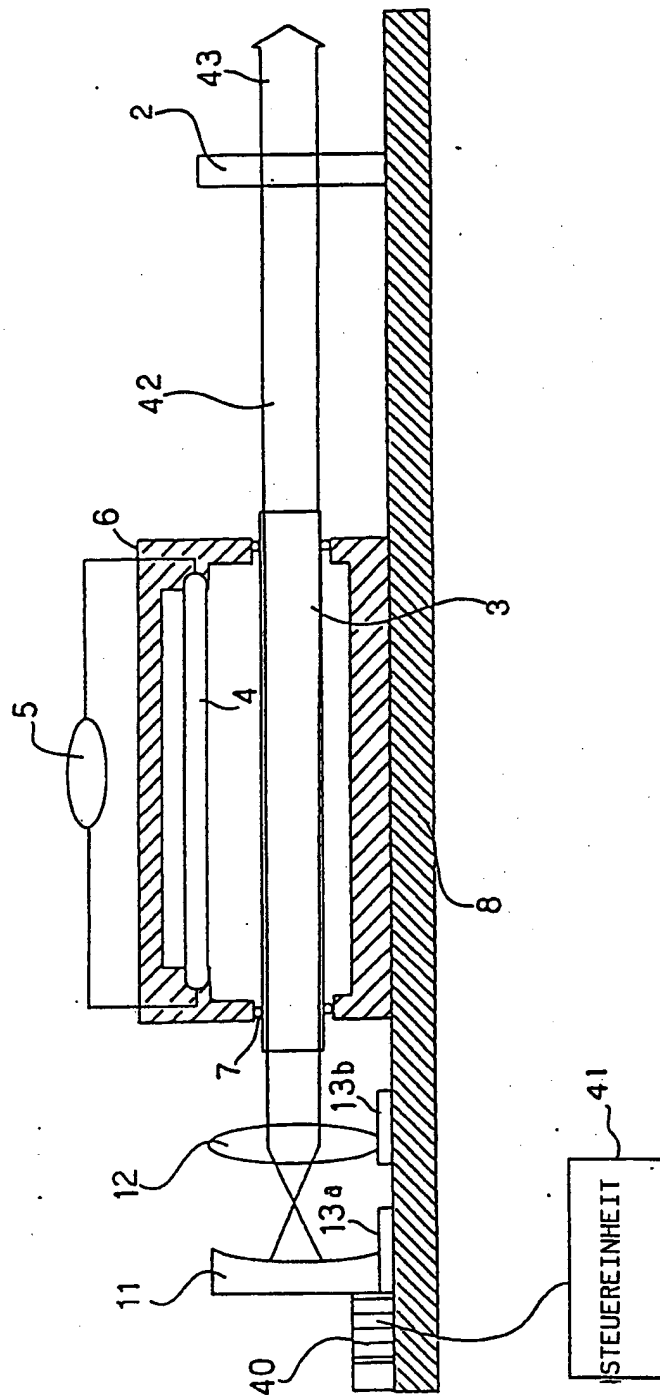


FIG. 31

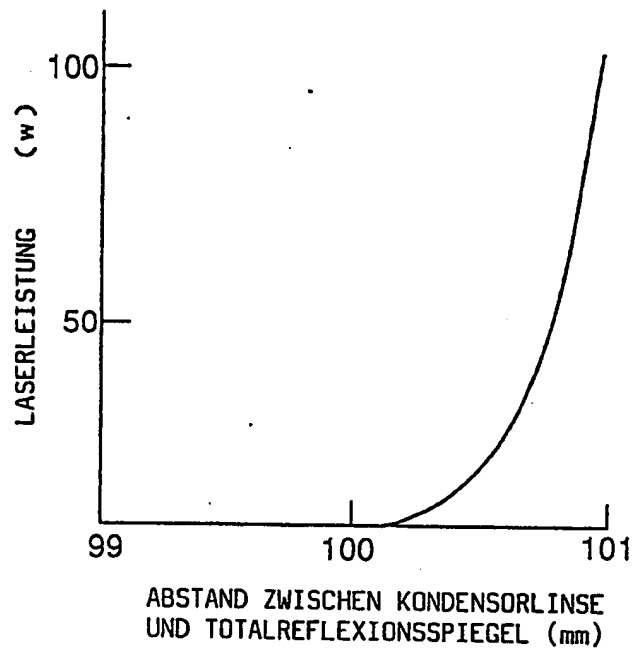


FIG. 32

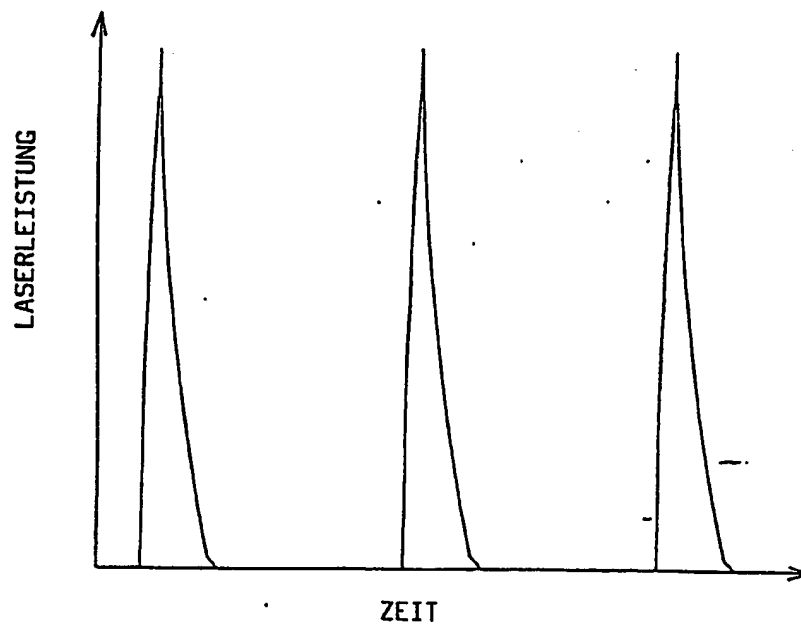


FIG. 33

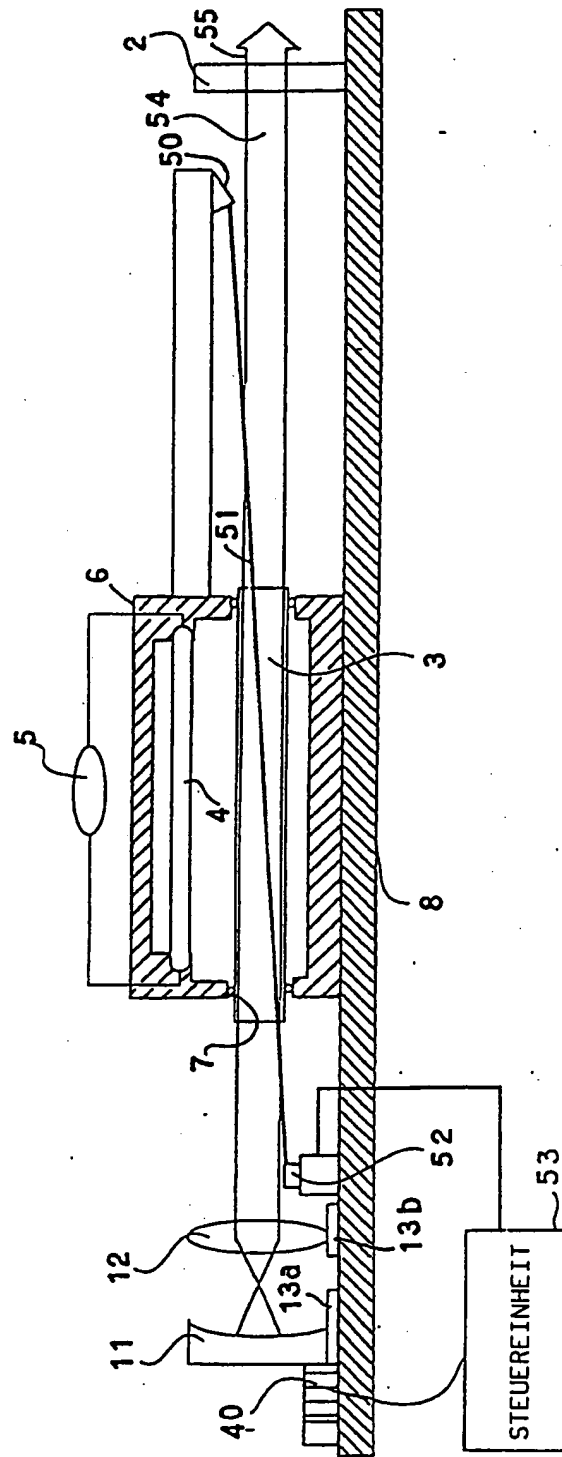


FIG. 34

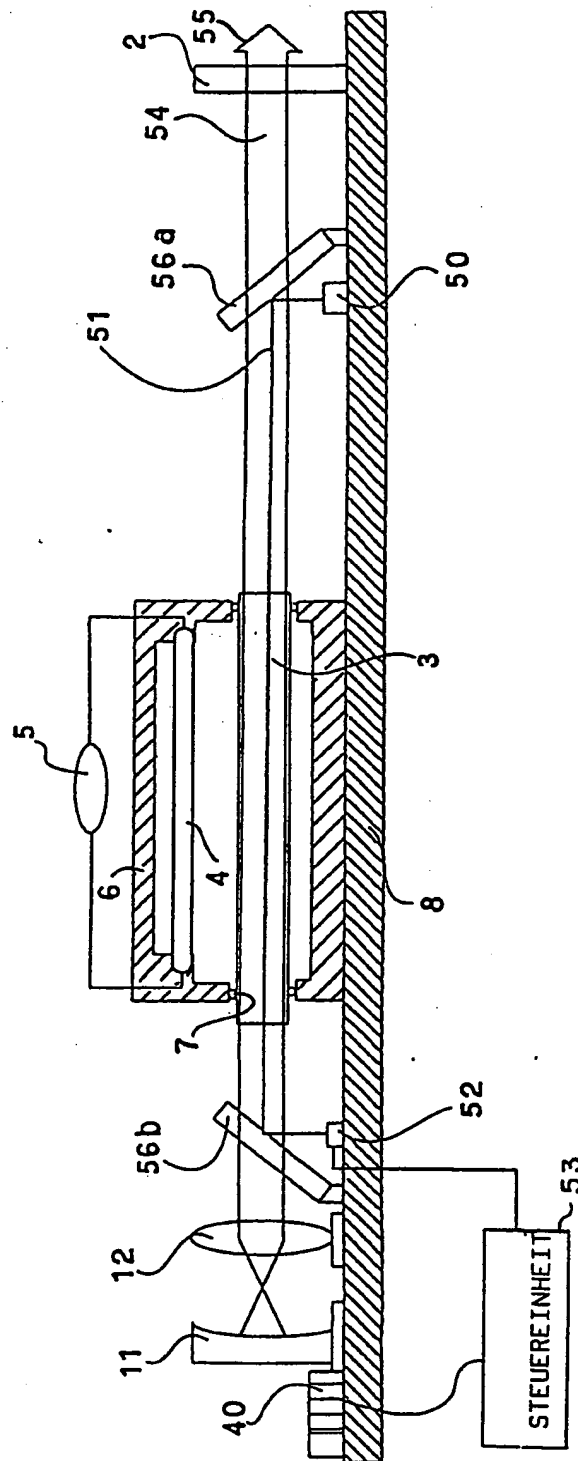


FIG. 35

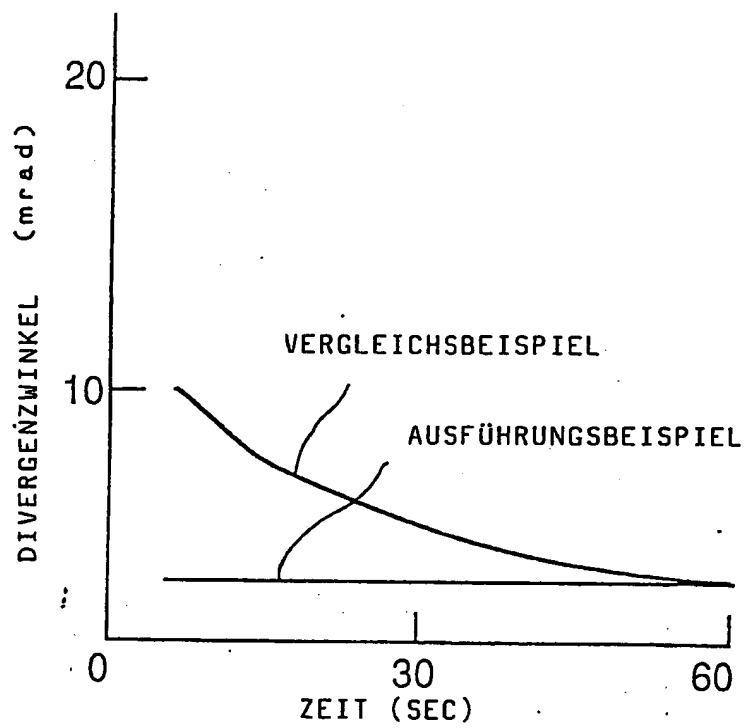


FIG. 36

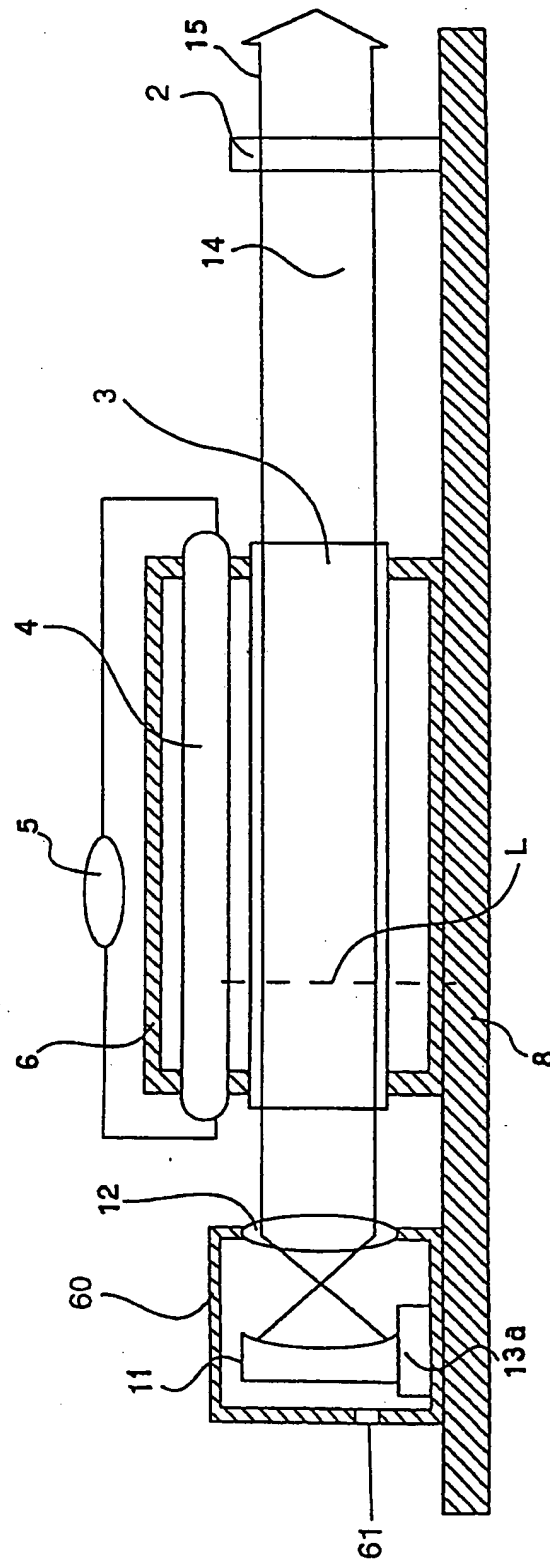


FIG. 37

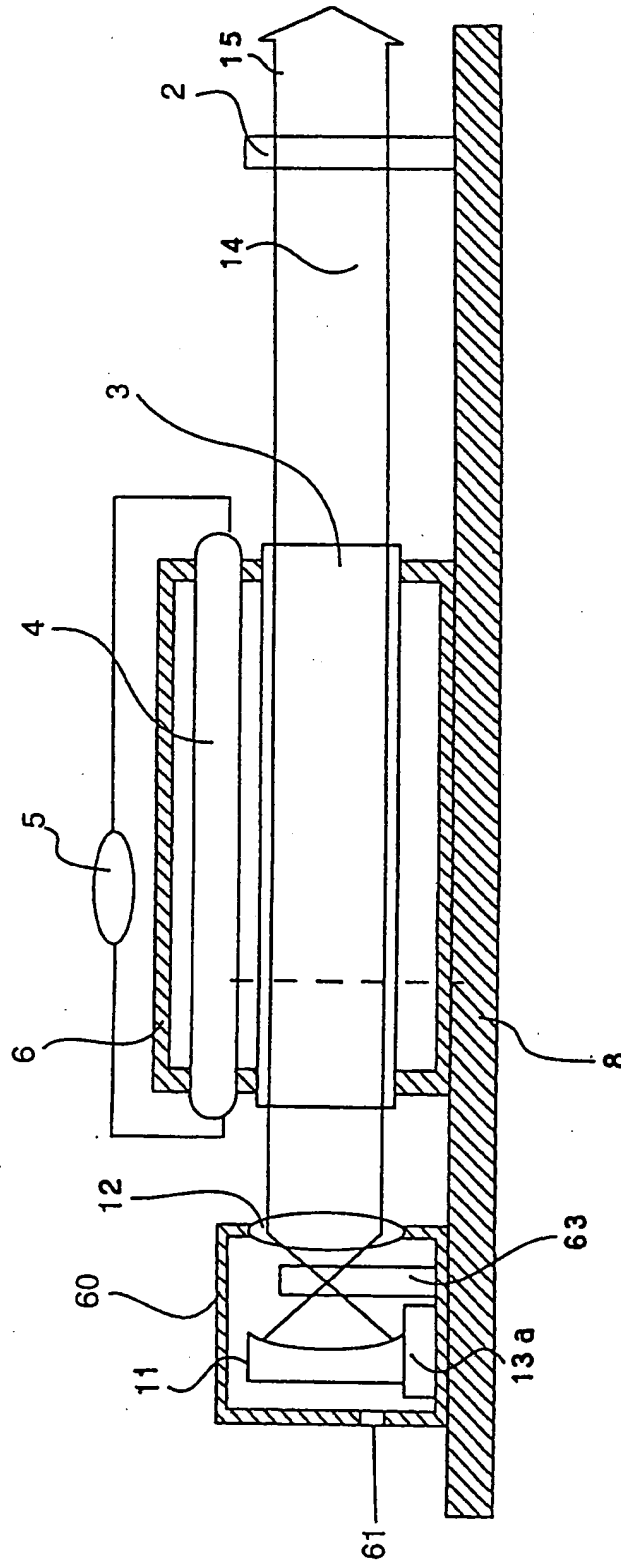


FIG. 38

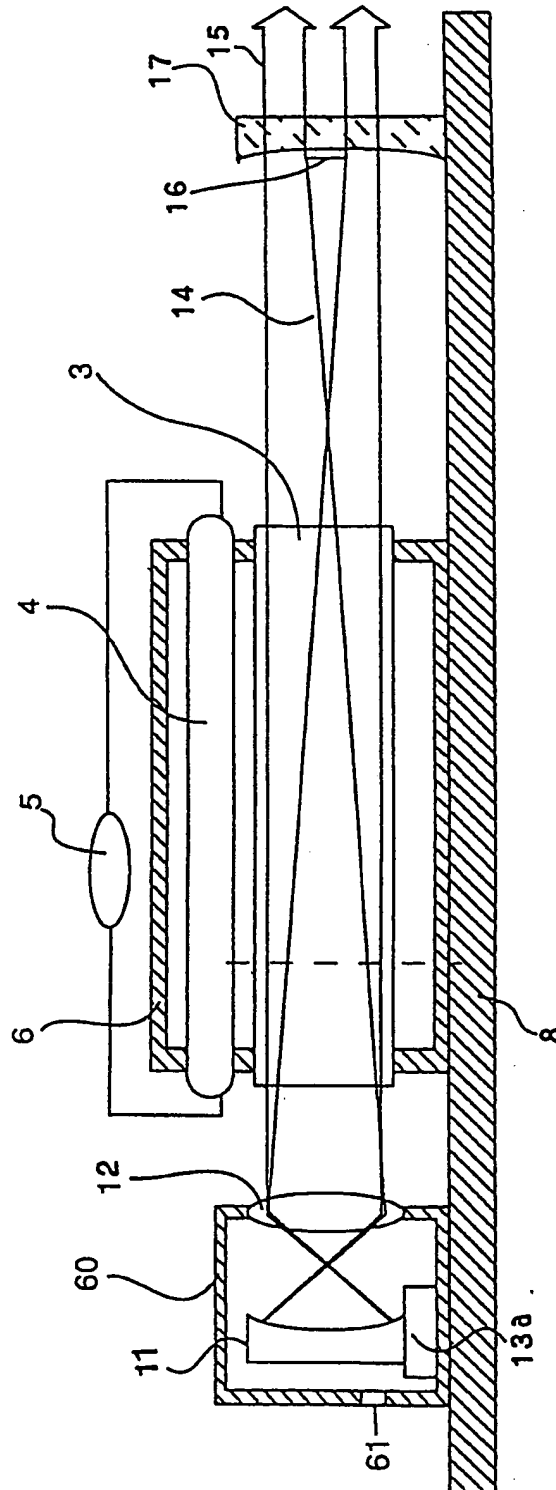


FIG. 39

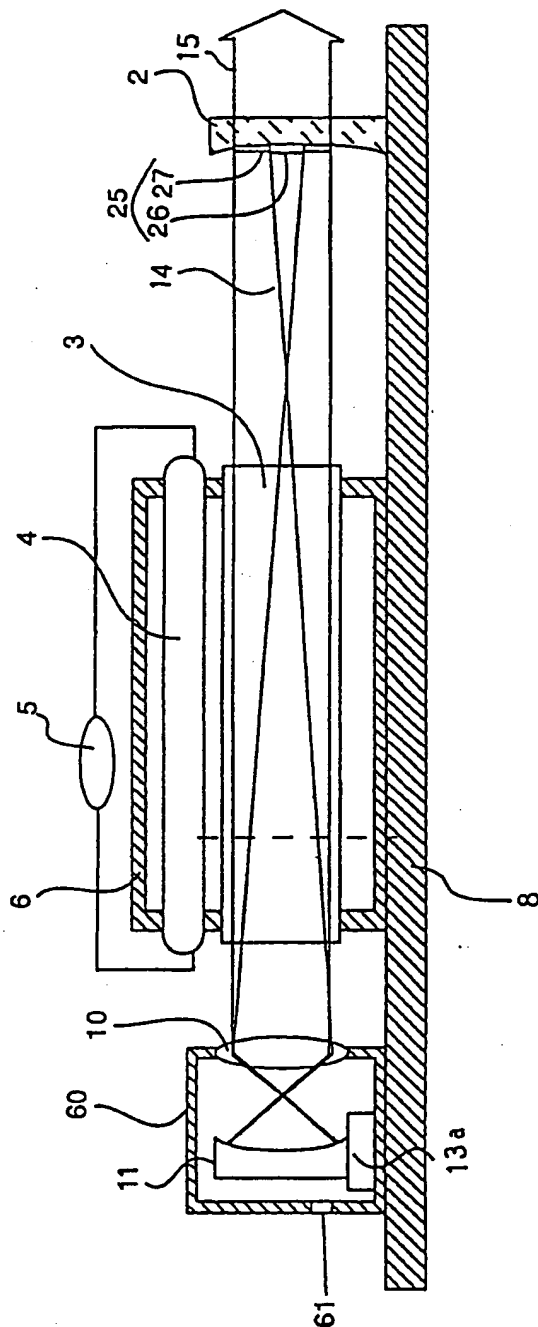


FIG. 40

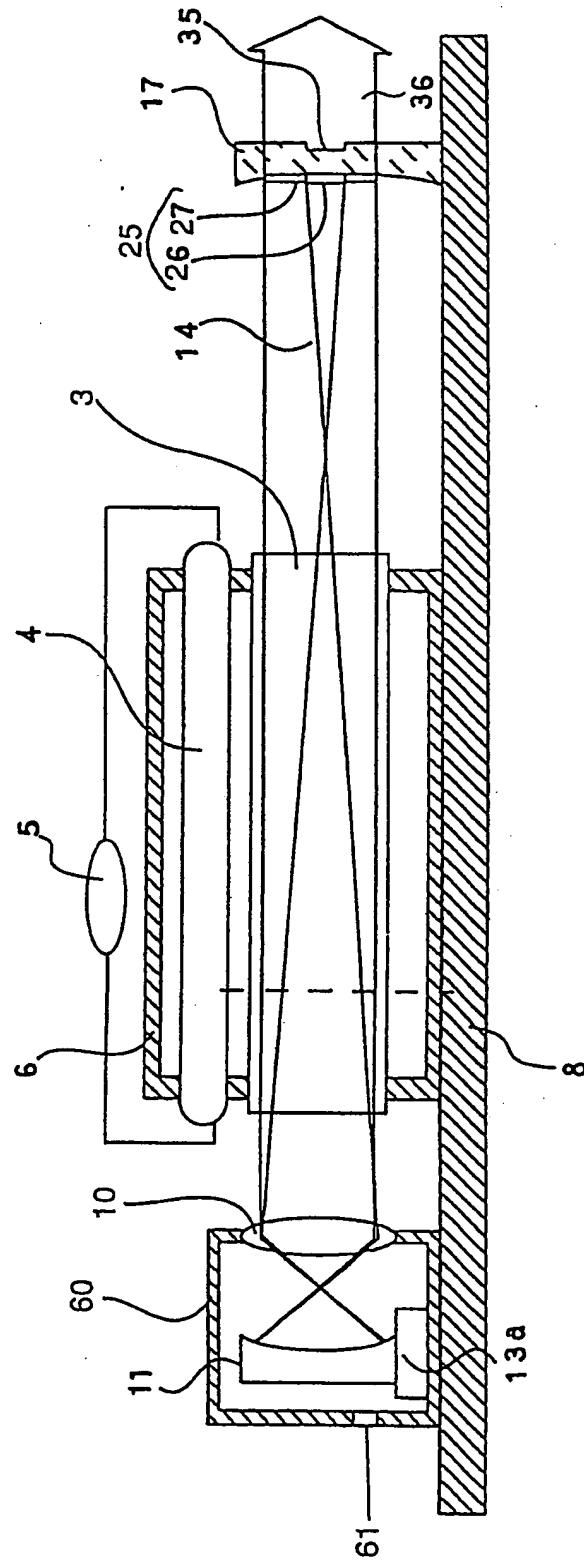


FIG. 41

(a)

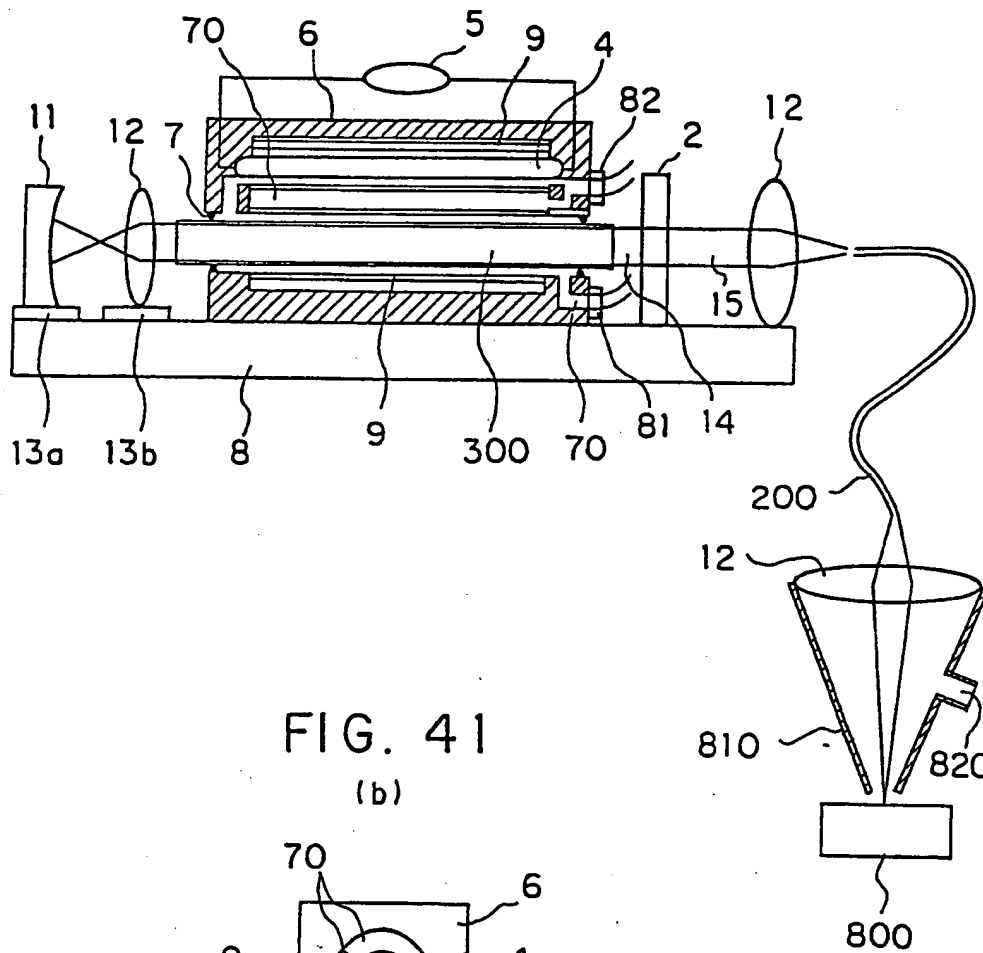


FIG. 41

(b)

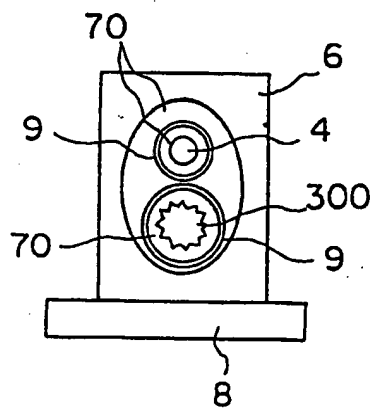


FIG. 42

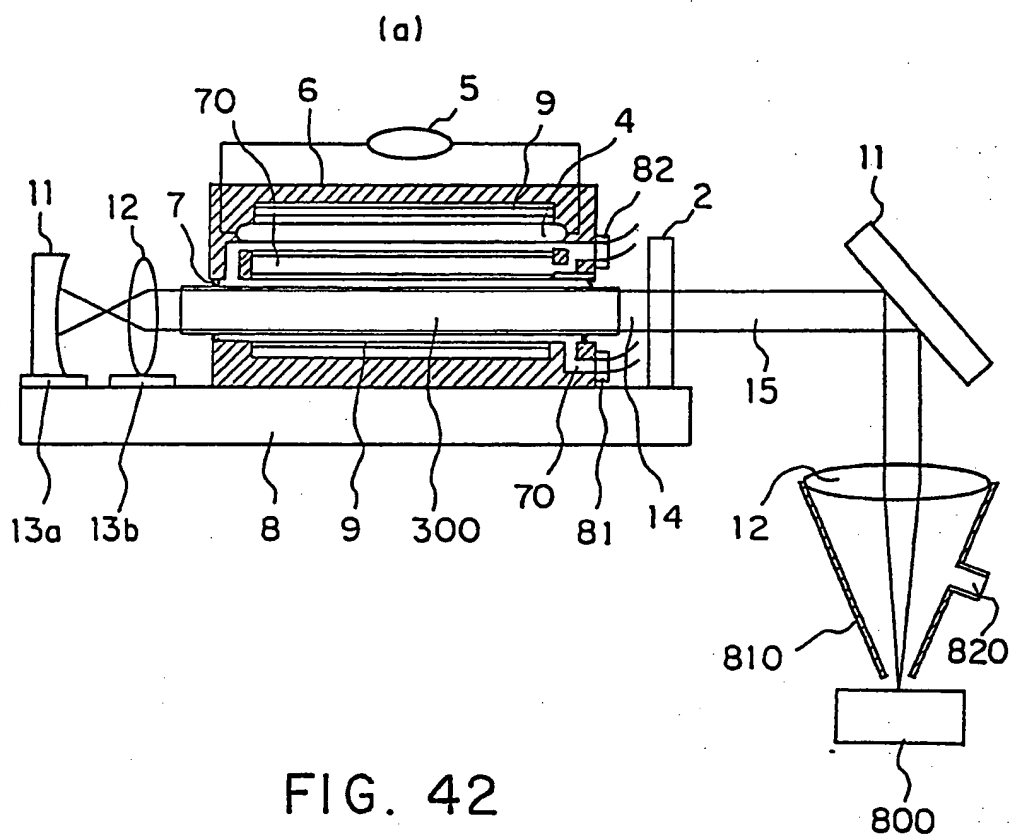


FIG. 43

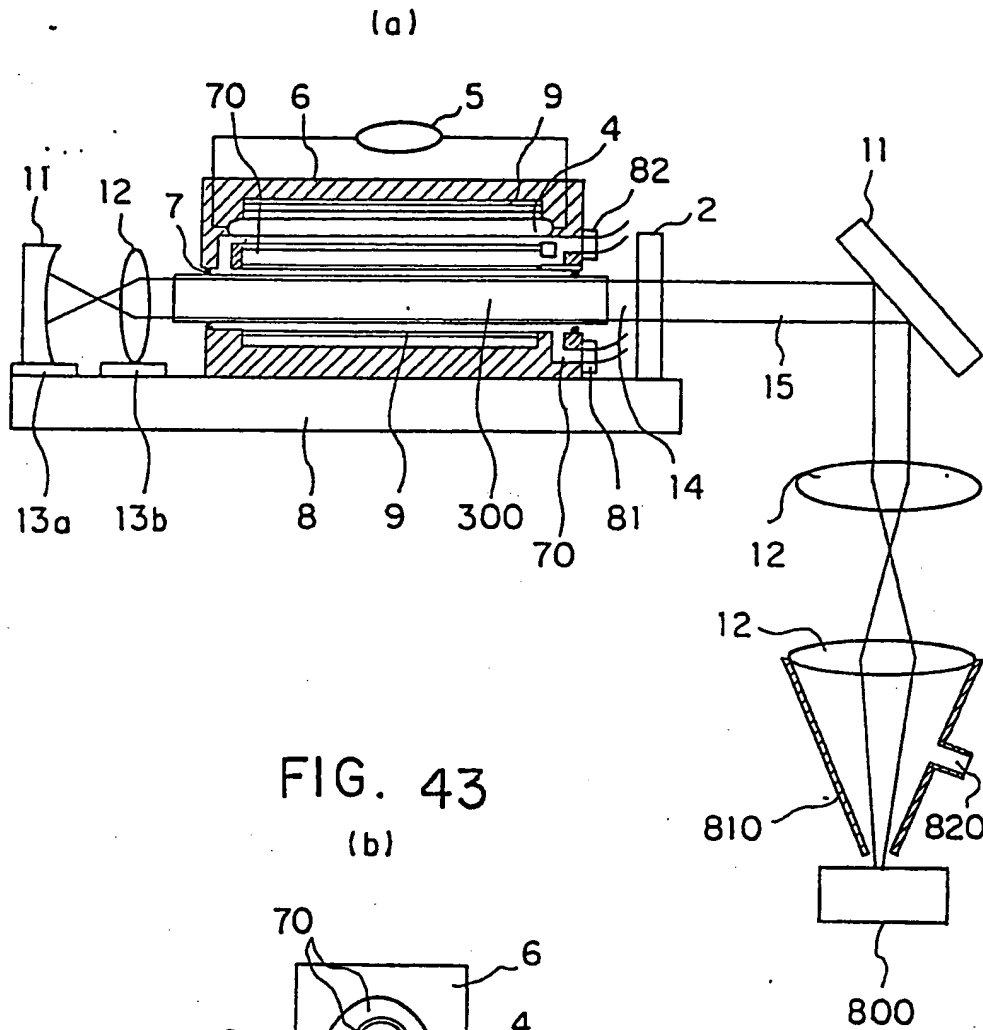


FIG. 43

(b)

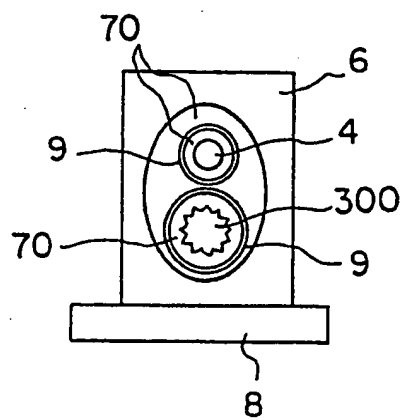


FIG. 44

(a)

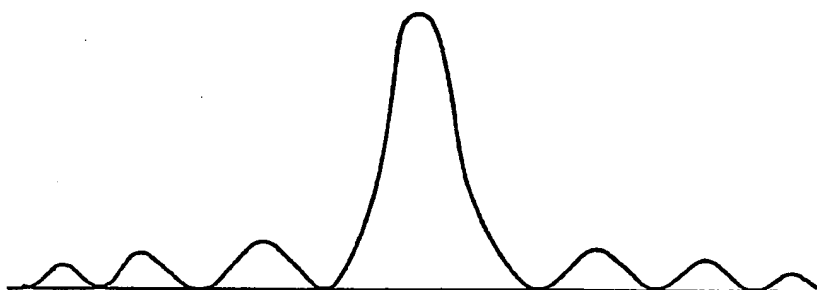
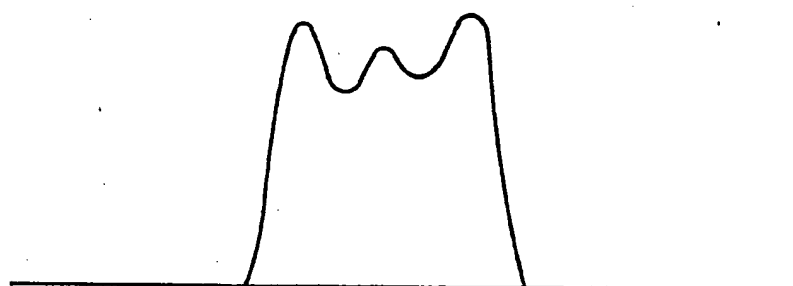
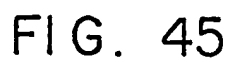


FIG. 44

(b)



(a)



(b)

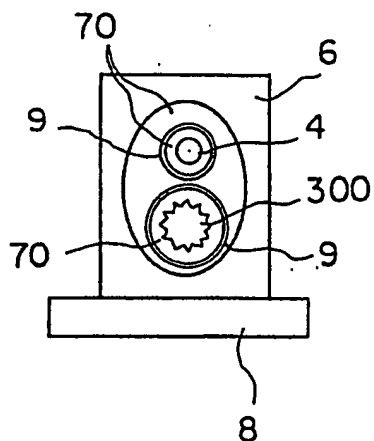


FIG. 46

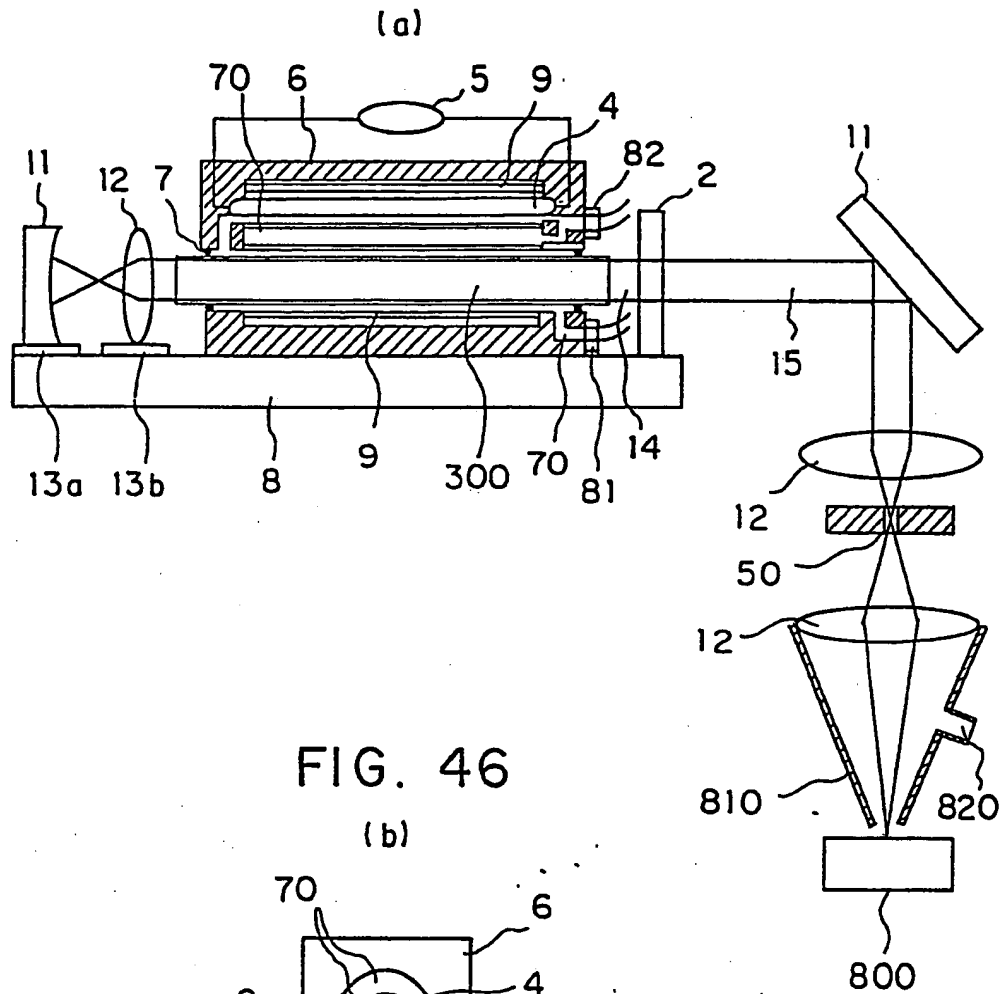


FIG. 46

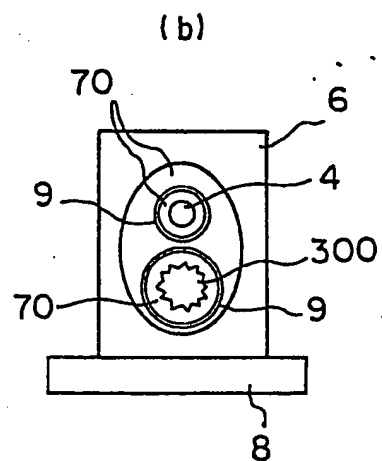


FIG. 47

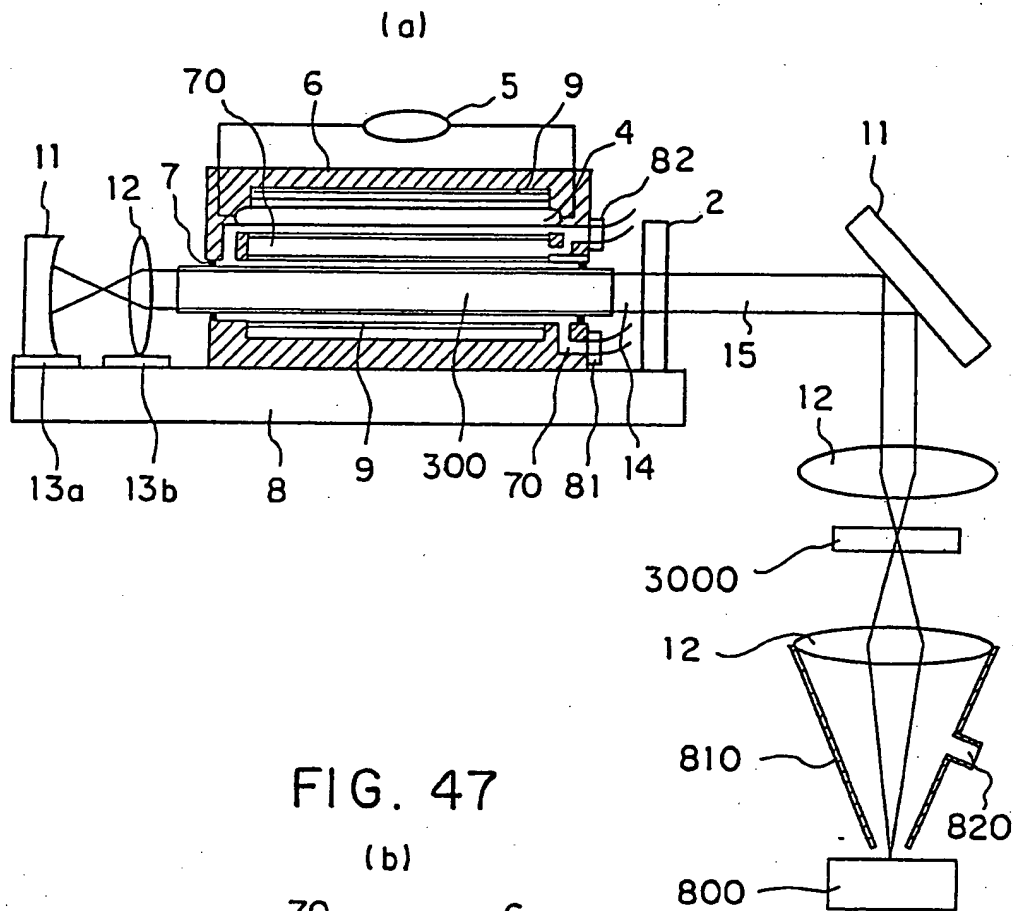


FIG. 47

(b)

